



**Universidad
Zaragoza**

Trabajo Fin de Grado

Neuroarquitectura. Análisis comparativo de tres salas de estudio de edificios universitarios.

Neuroarchitecture. Comparative analysis of three study rooms in university buildings.

Autor/es

Paula Vallejo Herranz

Director/es

Adriana Sofía Marín Martínez

Facultad / Escuela

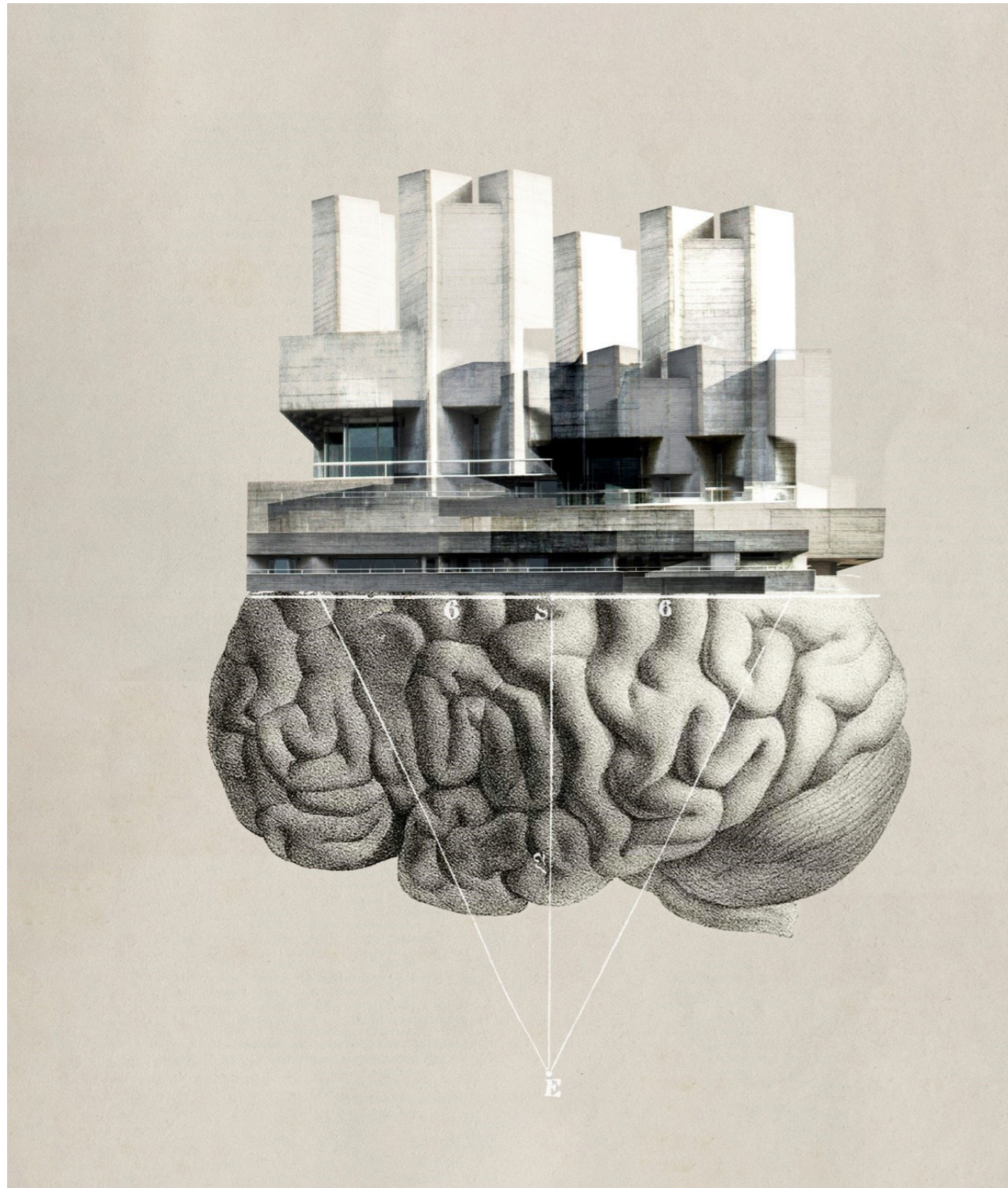
Grado en Estudios en Arquitectura

Escuela de Ingeniería y Arquitectura. Universidad de Zaragoza

2025

Neuroarquitectura.

Análisis comparativo de tres salas de estudio de edificios universitarios.



TRABAJO DE FIN DE GRADO

NEUROARQUITECTURA.

Análisis comparativo de tres salas de estudio de edificios universitarios.

Autor:

Paula Vallejo Herranz

Director:

Adriana Martínez Marín

Grado en Estudios en Arquitectura. Universidad de Zaragoza

[Fig. 1] Representación de la Neuroarquitectura

RESUMEN

Neuroarquitectura. Análisis comparativo de tres salas de estudio de edificios universitarios.

A día de hoy no resulta complicado reconocer la creciente relevancia del entorno construido para el bienestar del ser humano, especialmente en los lugares destinados al rendimiento académico. La Neuroarquitectura, desde sus inicios, ha tenido como propósito demostrar la manera en que los estímulos arquitectónicos influyen sobre nuestras emociones y percepciones, convirtiéndose en un instrumento esencial para reconsiderar la calidad de los entornos educativos, en este caso. Con este trabajo se tiene el objetivo de examinar tres salas de estudio que son parte de la Universidad de Zaragoza para determinar cómo se ajustan a los estándares de la Neuroarquitectura conocidos actualmente. Se exploran parámetros como la materialidad, la iluminación, la geometría, la vegetación o la configuración del espacio, entre otros, mediante una metodología descriptiva-comparativa. Con el análisis se pretende mostrar tanto fortalezas como debilidades de cada sala, subrayando la importancia de incorporar diseños más versátiles, humanos y enfocados en el bienestar de los usuarios, en este caso, estudiantes. Así, los espacios destinados al estudio en la universidad se muestran como escenarios propicios para optimizar la experiencia académica mediante una arquitectura interdisciplinaria y consciente.

ABSTRACT

Neuroarchitecture. Comparative analysis of three study rooms in university buildings.

Nowadays, it is not difficult to recognize the growing relevance of the built environment for human well-being, especially in spaces dedicated to academic performance. Since its beginnings, Neuroarchitecture has aimed to demonstrate the way in which architectural stimuli influence our emotions and perceptions, becoming an essential tool to reconsider the quality of educational environments in this context. The objective of this work is to examine three study rooms that are part of the University of Zaragoza in order to determine how they align with the currently established standards of Neuroarchitecture. Parameters such as materiality, lighting, geometry, vegetation, and spatial configuration, among others, are explored through a descriptive-comparative methodology. The analysis seeks to highlight both the strengths and weaknesses of each room, underlining the importance of incorporating more versatile, human-centered designs focused on the well-being of users, in this case, students. Thus, university study spaces are presented as favorable scenarios to optimize the academic experience through an interdisciplinary and mindful approach to architecture.

NEUROARQUITECTURA.

Neuroarquitectura. Análisis comparativo de tres salas de estudio de edificios universitarios.

9 INTRODUCCIÓN

Motivaciones

Objetivos

Metodología

15 ESTADO DEL ARTE

¿Qué es la neuroarquitectura?

Origen de la neuroarquitectura

Temas de investigación

Estudios de casos y aplicaciones

Procesos cognitivos y cognición espacial

Conceptos generales

Métodos y herramientas de investigación

o Artículo 1

El futuro de la neuroarquitectura

o Artículo 2

Experiencia del usuario y bienestar

o Artículo 3

La percepción sensorial y el entorno construido

o Artículo 4

o Artículo 5

o Artículo 6

37 CASOS DE ESTUDIO

Caso 1. Sala de estudio. Biblioteca CAI Universidad de Zaragoza

Caso 2. Sala Tomás Pollán. Edificio Betancourt. EINA (UNIZAR)

Caso 3. Sala de estudio. Facultad de Filosofía y Letras (UNIZAR)

Ficha de análisis comparativo

Cuantificación de los parámetros

Aplicación de la ficha

CASO 1

CASO 2

CASO 3

71 COMPARATIVA DE RESULTADOS

77 CONCLUSIONES

81 BIBLIOGRAFÍA

Introducción.

La elección del tema de estudio del Trabajo Final de Grado surge a raíz de mi experiencia personal viviendo durante un año en otro país, situación que me hizo darme cuenta de la gran influencia que ese cambio de escenario tuvo en mi bienestar físico y mental. Es a partir de este momento que comienzo a reflexionar más en profundidad sobre mi entorno y empiezo a cuestionarme muchas cosas, entre otras por qué, a pesar de haber sido criadas en la misma familia, mi hermana y yo percibimos el mundo de manera tan distinta. Con esto me refiero que ella, en mi lugar, hubiese experimentado la vivencia de una manera completamente distinta a mí. Donde yo encontraba dificultades para lidiar con el exceso de ruido, a ella no le hubiese importado o, por ejemplo, lo negativamente que me afectó el que la ciudad no presentase apenas vegetación. En su caso, a ella este hecho le hubiese pasado completamente desapercibido.

Es a partir de este cuestionamiento que me empiezo a preguntar en qué medida el entorno afecta a las personas, y en ese proceso descubro el concepto de "Neuroarquitectura". Solo con mostrar un poco de interés por lo que sentimos según el lugar en el que nos encontramos, podemos llegar a la conclusión de que hay lugares en los que indudablemente nos sentimos mejor, y eso parece estar relacionado de manera directa con el diseño arquitectónico.

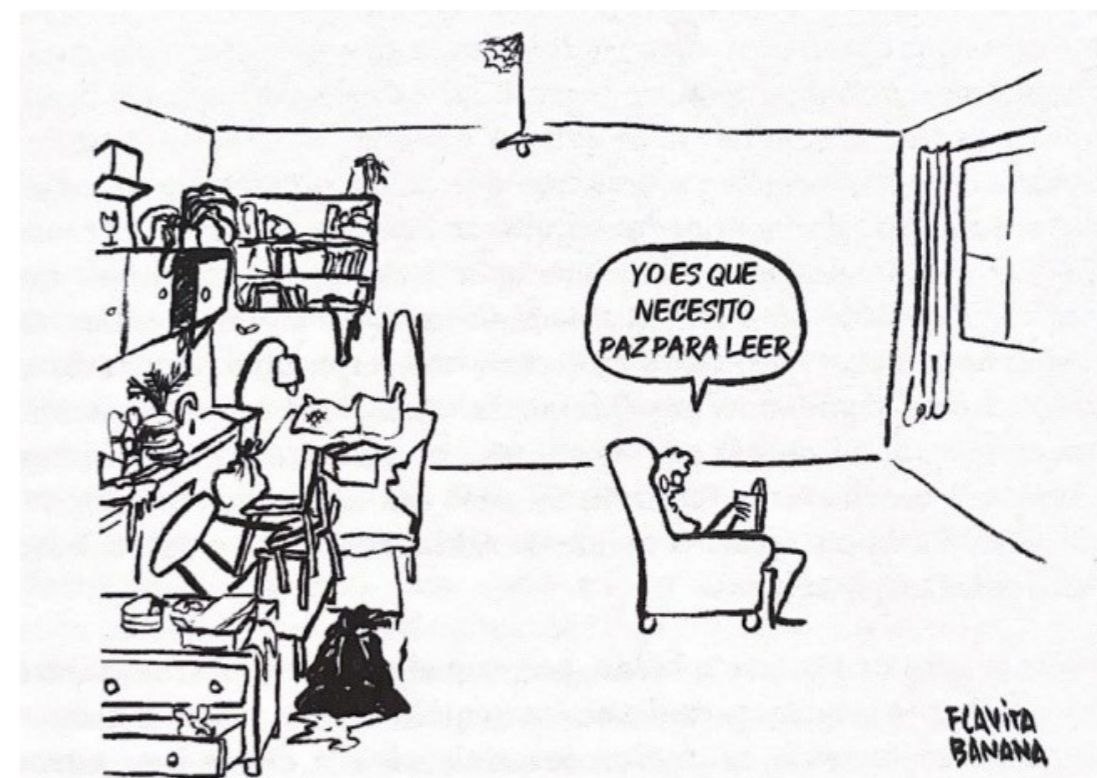
Además, si nos paramos a pensar en la reciente situación provocada por el COVID-19, nos damos cuenta que se ha subrayado la importancia de los espacios habitables. Esto surge, por un lado, debido al confinamiento y, por otro, al teletrabajo. El hecho de tener que pasar tantas horas en casa influye en gran medida en el bienestar de las personas, lo que provoca que cada vez más se valoren los espacios en los que se habita, donde se le da importancia, por ejemplo, a aspectos como la entrada abundante de luz natural o la presencia de terrazas.

Por todo ello, estudiar la importancia que tiene el entorno construido en el bienestar humano para mí es una gran motivación personal y profesional. Por un lado, para entender la manera en la que cada aspecto influye en nosotros y, por otro, para asegurar el mayor confort físico y mental de una sociedad que pasa cada vez más tiempo en casa debido a los grandes avances tecnológicos.

La importancia del entorno construido está ganando relevancia en la sociedad. En las últimas décadas, ha evolucionado desde estudios proposicionales hasta estudios experimentales de laboratorio, en gran parte debido a los avances tecnológicos. Sin embargo, aún queda un largo camino por recorrer antes de que los conocimientos en neuroarquitectura puedan aplicarse de forma profesional en el campo de la arquitectura y el urbanismo.

Por lo tanto, este Trabajo Fin de Grado tiene como principal objetivo profundizar en el conocimiento de las disciplinas implicadas en el estudio del entorno construido, así como conocer el impacto que tienen los espacios de estudio públicos en los estudiantes universitarios que hacen uso de ellos mediante el estudio de los principales elementos del entorno construido que identificamos en el campo de la Neuroarquitectura. Podemos dividir este trabajo en las siguientes partes:

- o Qué es la Neuroarquitectura, y cuál es su origen y evolución histórica hasta día de hoy.
- o Vías/programas de investigación en curso.
- o Cuáles son algunas de las conclusiones, resultados y aportaciones de la Neuroarquitectura que conocemos hasta el momento.
- o Análisis y comparativa de su aplicación práctica a través de tres casos de estudio.



[Fig. 2] Representación de la Neuroarquitectura

Metodología

Introducción

En este Trabajo Fin de Grado se emplea una metodología de tipo descriptiva-comparativa con el objetivo de analizar y determinar la manera en que las tres salas de estudio universitarias elegidas responden a los principios de la Neuroarquitectura que se conocen a día de hoy.

Una investigación descriptiva-comparativa es aquella que se centra en analizar, describir y observar en profundidad algo en concreto, sin la voluntad de cambiarlo. Se emplea con el objetivo de recopilar los datos y las características necesarias de aquello que nos interesa para su posterior análisis, y finalmente su comparación.

Por ello, una vez establecidos los objetivos generales del trabajo; los cuales están centrados en determinar y evaluar los elementos del entorno construido que permiten determinar el impacto de dicho entorno construido en el bienestar fisiológico, cognitivo, emocional y conductual de un estudiante universitario, se lleva a cabo la búsqueda de información pertinente en libros y artículos científicos recientes sobre Neuroarquitectura y sus líneas de investigación, así como en páginas web referentes en este tema, como lo son la "Academy of Neuroscience for Architecture" (ANFA) en Estados Unidos o la "NeuroArquitecturaLab" de la Universitat Politècnica de València (UPV) en España, con el fin de obtener una base teórica sólida y actualizada.

A continuación, se extrae de la información obtenida los principales parámetros de la Neuroarquitectura; tales como el uso de materiales, la iluminación, la geometría espacial, la configuración del espacio, la vegetación, la altura de techo, la proporción y el color. Estos elementos son los que constituyen, en forma de tabla, la herramienta de análisis comparativo que se aplica después en los tres casos de estudio escogidos.

En cuanto a los tres casos de estudio, se ha optado por tres salas de estudio pertenecientes a diferentes espacios de la Universidad de Zaragoza; una de las salas de la Biblioteca CAI Universidad de Zaragoza, la Sala Tomás Pollán de la Escuela de Ingeniería y Arquitectura (EINA) y la sala de estudio de la facultad Filosofía y Letras. Todas ellas han sido seleccionadas pensando en sus diversas características: año de construcción, orientación, arquitecto/s involucrado/s, iluminación, configuración espacial, materialidad, etc.

Una vez presentadas las tres salas de estudio, se diseña una ficha comparativa de análisis con los parámetros elegidos de la Neuroarquitectura y, a continuación, se procede a hacer la cuantificación de dichos parámetros seleccionados, los cuales serán analizados en cada uno de los tres casos de estudio. Una vez aplicada la ficha se procede a realizar un análisis comparativo de los resultados; con la finalidad de obtener similitudes, diferencias y oportunidades de mejora. Finalmente se sacan las conclusiones generales.

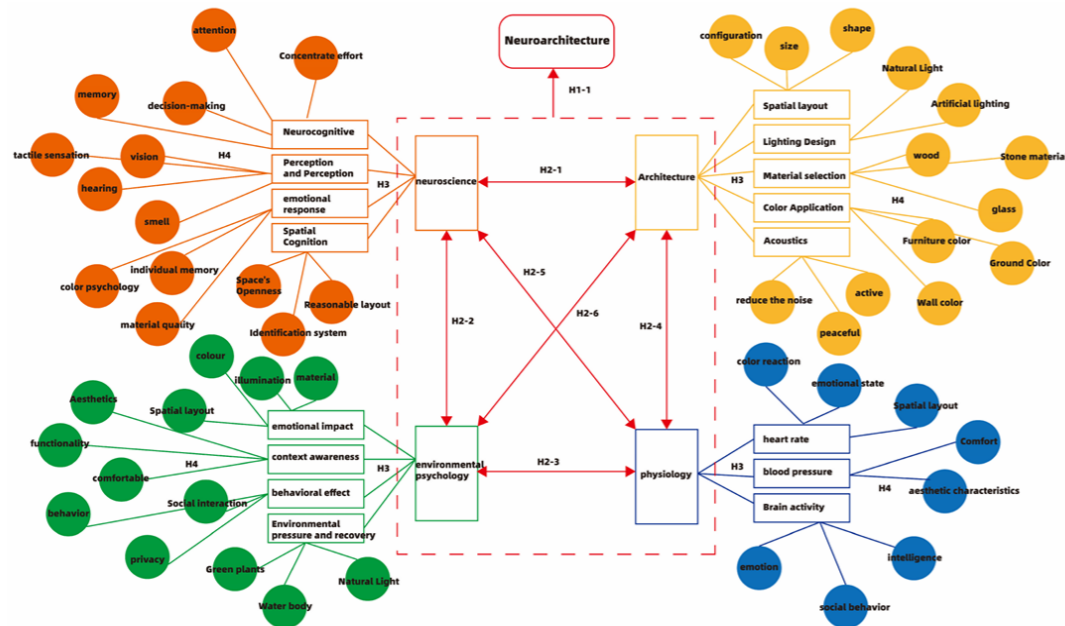
Estado del arte.

¿Qué es la Neuroarquitectura?

Estado del arte

Como indica Marta Delgado en el libro *Neuroarquitectura. Aprendiendo a través del espacio de Ana Mombiedro* (2022) "la Neuroarquitectura es una sub-disciplina de la neurociencia cognitiva centrada en el estudio de las reacciones del cerebro y del sistema nervioso a estímulos sensoriales que provienen del entorno construido." (Neuroarquitectura, 2022, p. 56). En otras palabras, la arquitectura se encarga de diseñar los lugares donde vivimos, trabajamos, estudiamos, y la neurociencia estudia cómo el cerebro reacciona a los estímulos sensoriales. Combinadas, surge un campo de investigación que tiene el objetivo de fomentar ambientes más humanos y saludables.

Como explica Ana Mombiedro en su libro, referencia clave para comprender en lo que está basada esta nueva disciplina, "Los arquitectos, a diferencia de los ingenieros, no diseñamos para satisfacer necesidades de la industria o de la comunicación, sino para hacer la vida más agradable a las personas. Para intentar cumplir este ambicioso objetivo, la arquitectura bebe de otras disciplinas como la psicología, la filosofía, la antropología o la neurociencia." (Mombiedro, 2022, p. 17). En la Fig. 1 se puede observar esta relación entre parámetros de la Neuroarquitectura y sus procesos emocionales y cognitivos.



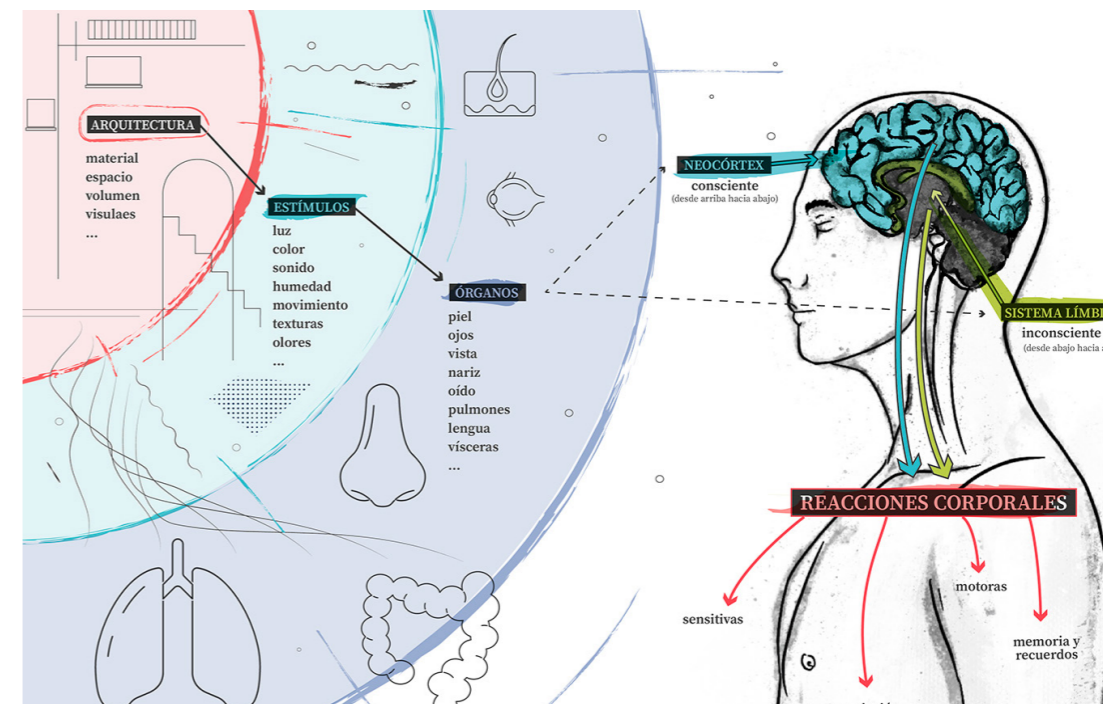
[Fig. 3] Diagrama de relación conceptual de la Neuroarquitectura

John P. Eberhard, arquitecto y fundador en 2003 de la "Academy of Neuroscience for Architecture" (ANFA), fue uno de los primeros en hacer oficial esta relación entre neurociencia y arquitectura. Para él "Percibir, en términos de neurociencia, significa reconocer una cosa o una experiencia a través de un proceso iniciado por los sentidos." (Neuroarquitectura, s. f.). En otras palabras, la Neuroarquitectura hace posible analizar de qué manera los componentes arquitectónicos funcionan como técnicas de diseño que tienen un impacto en el bienestar humano.

También Fred H. Gage (2003), neurocientífico y director del "Salk Institute for Biological Studies" en California en la AIA Convention & Expo, enfatizó esta relación al afirmar:

"Si bien el cerebro controla nuestro comportamiento y los genes controlan el plano para el diseño y la estructura del cerebro, el entorno puede modular la función de los genes y, en última instancia, la estructura de nuestro cerebro. Los cambios en el entorno modifican el cerebro y, por lo tanto, modifican también nuestro comportamiento. Al planificar los entornos en los que vivimos, el diseño arquitectónico transforma nuestro cerebro y nuestro comportamiento." (Gage, 2003, p. 2-3, traducción propia).

En la Fig. 2 se ilustra la forma en que los estímulos arquitectónicos impactan al cuerpo humano a través de los sentidos, lo que se traduce en respuestas corporales.



[Fig. 4] Diagrama de definición de la Neuroarquitectura

También cabe recalcar que la Neuroarquitectura no es un estilo o movimiento arquitectónico, sino una práctica en la que podemos entender la arquitectura a través de la utilización de herramientas de neurociencia. Por lo tanto, todo entorno construido y natural puede ser objeto de estudio de la neuroarquitectura ya que todos ellos producen estímulos, ya sean estos mejores o peores para el bienestar del ser humano (Neuroarquitectura, 2022).

Por ello, es de vital importancia que la arquitectura trabaje conjuntamente con otras disciplinas con el objetivo de mejorar la calidad de vida de las personas, proporcionando diseños centrados en el *modus vivendi* de sus usuarios, no en los materiales, ni en la tecnología, o en la geometría, tal como indica Ana Mombiedro en su libro.

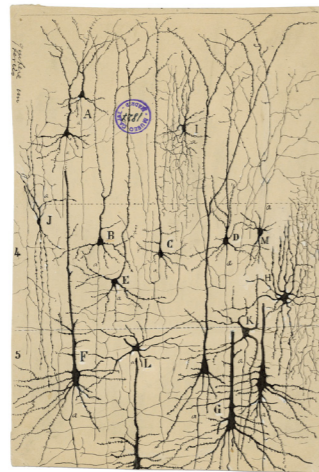
Origen de la Neuroarquitectura.

Estado del arte

Como ya se ha comentado anteriormente, la Neuroarquitectura es una sub-disciplina que integra muchas otras, entre ellas la neurociencia y la arquitectura. Es por esto que, para poder estudiar su origen, debemos remontarnos al momento en que el campo de la neurociencia experimentó un gran descubrimiento.

El neurocientífico Santiago Ramón y Cajal, en 1888, demuestra con su Teoría de la Neurona que las neuronas son células independientes, no una red continua como se creía anteriormente. Además, probó que éstas están conectadas por sinapsis, lo que permitió entender como viajan los impulsos nerviosos. Su trabajo estableció la base del aprendizaje y la plasticidad cerebral e influyó en el estudio de enfermedades neurológicas como el Alzheimer o la esclerosis múltiple. Formuló una idea que dominó la neurociencia durante casi un siglo:

"Una vez finalizado el desarrollo, las fuentes de crecimiento y regeneración neuronal se secan irrevocablemente. En los centros adultos, los caminos nerviosos son algo fijo e inmutable; todo puede morir, pero nada puede regenerarse." (Ramón y Cajal, s. f.)

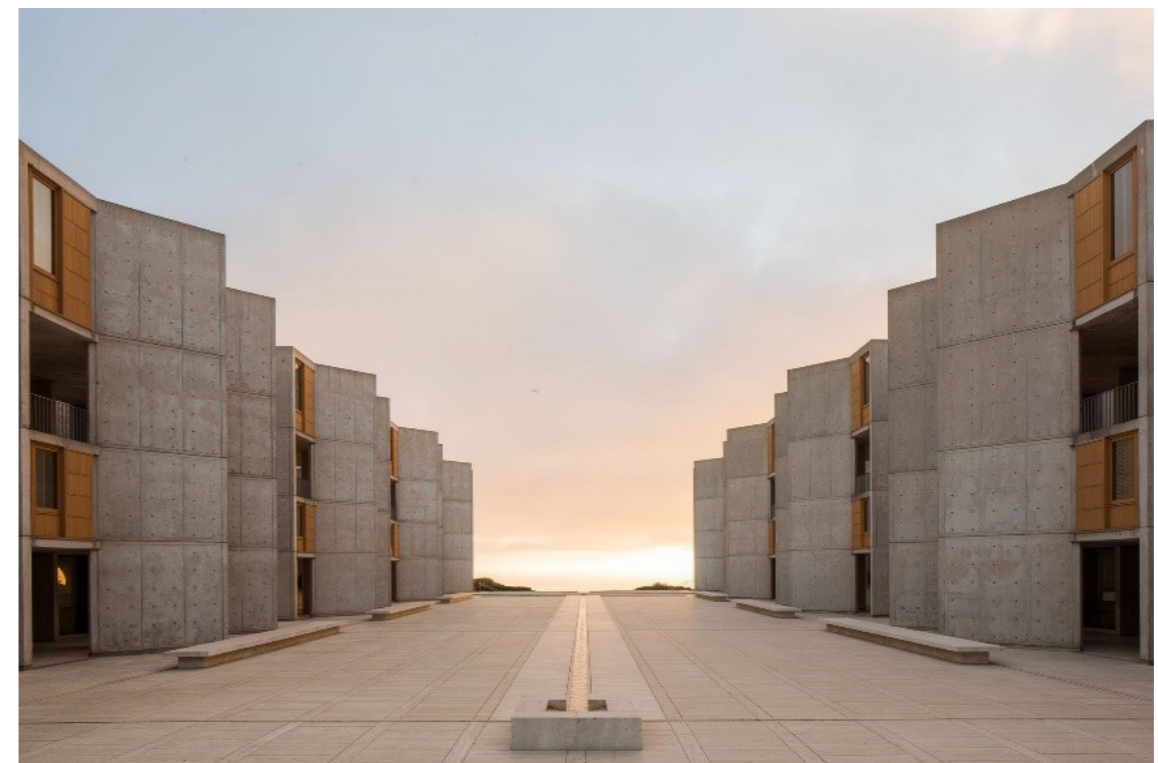


[Fig. 5] Representación de la neurona

Esta visión hizo que pensáramos en el cerebro como un sistema cerrado y estático. Sin embargo, recientemente, esta idea ha sido desafiada.

El Dr. Fred H. Gage, en su artículo "Neuroscience and Architecture" (Gage, 2003), comenta que existen investigaciones alrededor del mundo que han demostrado que el cerebro adulto no es estático, ya que contiene células madre que pueden dividirse y convertirse en nuevas neuronas a lo largo de nuestra vida. Este proceso se conoce como neurogénesis. Se creía que este proceso solo ocurría en el desarrollo embrionario, pero se ha demostrado que continúa en la fase adulta. Sin embargo, no ocurre en todo el cerebro, sino en estructuras clave como en el hipocampo, región del cerebro que se encarga de formar nuevos recuerdos. Aquí es donde entra en juego el entorno, el cual influye en el nacimiento de nuevas neuronas, haciendo que se modifique la estructura de nuestro cerebro y, por lo tanto, nuestro comportamiento.

Estas investigaciones se llevaron a cabo en el Instituto Salk, centro de investigación biomédica en La Jolla, California, fundado en 1965 por Jonas Salk. A mediados de los años 50, el investigador pasaba por un bloqueo y se marchó a Italia donde encontró la vacuna contra la poliomielitis. Convencido de que el entorno influyó en él para el hallazgo, contacta con Louis Kahn para diseñar un centro de investigación con las características que a él le habían sido de gran ayuda y habían favorecido en su creatividad. Este es considerado el primer referente de la Neuroarquitectura.



[Fig. 6] Instituto Salk, EEUU

Es la convención de la AIA en San Diego, California, en 2003, donde el Dr. Fred H. Gage expone el artículo comentado anteriormente, el momento que marca el inicio de la "Academy of Neuroscience for Architecture" (ANFA). Es aquí cuando el neurocientífico del Instituto Salk postula el término de neuroarquitectura de manera oficial. Esta academia, fundada por el arquitecto John P. Eberhard, tiene el objetivo de "promover y difundir el conocimiento que vincula la investigación de la neurociencia con una mejor comprensión de las respuestas humanas al espacio construido". Es por eso que, cada dos años, esta asociación organiza congresos que reúnen a profesionales de diversas disciplinas de todo el mundo para exponer los diferentes avances y descubrimientos y así llegar a conclusiones comunes aplicables a la arquitectura.

Aunque la ANFA es la principal asociación a día de hoy encargada en estudiar esta sub-disciplina debido al gran número de neurocientíficos y demás profesionales con los que cuenta para la realización de investigaciones, también hay otros grupos de investigación relevantes dentro de la comunidad académica internacional.

Temas de investigación.

Estado del arte

Un gran referente sería el “NeuroArquitecturaLab” de la Universitat Politècnica de València (UPV) en España. Fundado en 2012, forma parte del Instituto de Investigación Tecnológica Centrada en el Ser Humano (Human-Tech) de la UPV y es considerado pionero a nivel europeo en este ámbito en cuanto a publicaciones científicas. Este laboratorio de Neuroarquitectura tiene como objetivo entender y evaluar el comportamiento humano en el espacio arquitectónico, analizando la respuesta psicológica, neurofisiológica y comportamental de sus usuarios. Para llevar a cabo la cuantificación de las respuestas emocionales de los sujetos, se utilizan espacios virtuales con los que se consigue alterar las condiciones físicas del entorno construido.

Otro grupo de investigación líder en el estudio de los efectos neuropsicológicos de los entornos construidos es el BBAR, es decir, el “Brain, Body, Architecture Research” de la Universidad de Aalborg (Dinamarca). Busca profundizar en el entendimiento de las respuestas neurofisiológicas de procesos inconscientes como la percepción, la atención y la memoria de trabajo, todas ellas influenciadas por el movimiento del entorno construido. Todo ello se consigue con un enfoque integrador, donde combinan enfoques cualitativos y marcos neurocientíficos.

Como ya se ha señalado anteriormente, la Neuroarquitectura como disciplina se ha empezado a estudiar hace relativamente poco. Por ello, surgen cada vez más nuevos campos de investigación, como lo sería el Centre for NeuroArchitecture & NeuroDesign. Este proyecto, que tiene el objetivo de ser el primer centro internacional de Neuroarquitectura y Neurodiseño del mundo, surgió el 10 de enero de 2024 de la mano de la University College London (UCL) en colaboración con el Research Institutes of Sweden (RISE). Este nuevo campo de investigación empírico integra la neurociencia y la Inteligencia Artificial (IA) con la arquitectura y el diseño, con el objetivo de impulsar una transformación global hacia entornos que, además de ser sostenibles, también optimicen el potencial humano, su calidad de vida y su bienestar.

En el portal web de ANFA es posible identificar diversas líneas de investigación que se están llevando a cabo entorno al tema de la Neuroarquitectura. En algunas de ellas se han incluido artículos científicos relacionados que nos serán útiles para nutrirnos de información que luego pondremos en práctica en el apartado de los casos de estudio:

Estudios de casos y aplicaciones

Se están realizando estudios con aplicaciones reales de los principios de la neurociencia en diversos campos arquitectónicos, por ejemplo:

- o Neuroarquitectura en el diseño de atención médica
- o Neuroarquitectura en entornos educativos
- o Neuroarquitectura en el diseño residencial y de lugares de trabajo

Procesos cognitivos y cognición espacial

En esta línea de investigación, se está examinando la manera en la que el diseño espacial interactúa con funciones cerebrales como:

- o Navegación espacial y orientación
- o Atención, memoria y aprendizaje en entornos construidos
- o Emoción, estado de ánimo y atmósfera en la arquitectura

Conceptos generales

De la misma manera que es importante aplicar los conocimientos de Neuroarquitectura, lo es también explorar el conocimiento fundamental de la neurociencia y su relevancia para la teoría y la práctica arquitectónica.

- o Introducción a la neurociencia para arquitectos
- o Historia y evolución de la Neuroarquitectura
- o Consideraciones éticas en Neuroarquitectura

Métodos y herramientas de investigación

En esta línea de investigación se analizan las técnicas y herramientas más avanzadas utilizadas para estudiar la respuesta del cerebro a la arquitectura.

- o Técnicas de neuroimagen: magnetoencefalografía (MEG), resonancia magnética funcional (fMRI) o electroencefalografía (EEG)
- o Biosensores y medición fisiológica para medir las respuestas fisiológicas al entorno construido: monitores de frecuencia cardíaca, rastreadores oculares...
- o Realidad virtual (RV) y diseño arquitectónico

En lo relativo a esta línea de investigación se incluye un artículo científico titulado **“La encarnación de la experiencia arquitectónica: Una perspectiva metodológica sobre la Neuroarquitectura”** de los autores *Sheng Wang, Guilherme Sanches de Oliveira, Zakaria Djebbara y Klaus Gramann*, que profundiza en las herramientas de investigación que se están empleando en el seno de la Neuroarquitectura así como su validez y alcance.

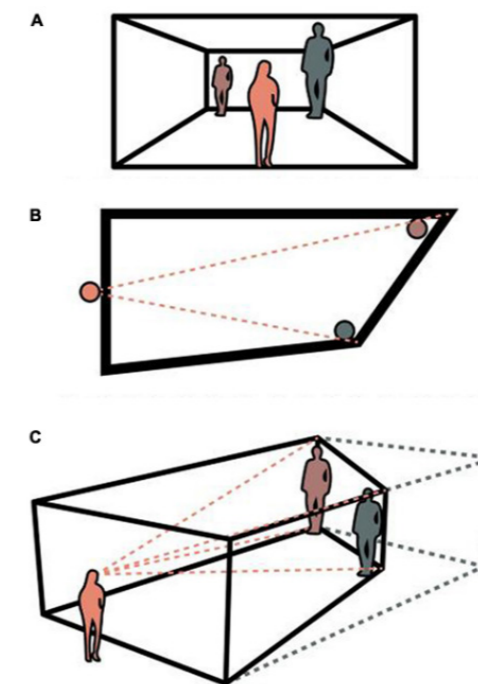
Este estudio comienza comentando que los métodos de investigación pueden dividirse a grandes rasgos en dos categorías: los paradigmas estacionarios (MEG, fMRI o EEG), donde el participante permanece inmóvil; y los paradigmas móviles, en los cuales se permite a los participantes la interacción física con el entorno. Se habla de que en los paradigmas estacionarios el control experimental es alto, pero su validez ecológica baja. Cuando hablamos de validez ecológica nos estamos refiriendo a qué tan bien los resultados de un estudio pueden aplicarse a situaciones del mundo real. En contraposición a la primera categoría de métodos de investigación, los paradigmas móviles tienen una alta validez ecológica debido a que los participantes experimentan activamente espacios tridimensionales, reales o virtuales. La conclusión a la que se llega es que, en conjunto, los resultados obtenidos pueden complementarse y contribuir a una comprensión más completa del cerebro humano.

Al igual que en la página web de ANFA, en este estudio también se comenta que hay diversas maneras de estudiar la arquitectura desde un enfoque más neurocientífico. Existen estudios que se centran en el impacto de la arquitectura en los juicios estéticos y la dinámica cerebral que los acompaña, pero también existen otras líneas de investigación como aquella que se centra en el impacto de los diseños arquitectónicos en el estado emocional y afectivo de las personas. Esto se puede medir gracias al uso de sensores fisiológicos, como el EEG, la Respuesta Galvánica de la Piel (GSP) y el seguimiento ocular (ET).

Sin embargo, estas metodologías presentan dos grandes limitaciones. La primera de ellas es que la mayoría de los estudios se limitan a la estética arquitectónica, obviando aspectos de la arquitectura como la ergonomía, las posibilidades o la funcionalidad. La segunda limitación es la baja validez ecológica de los métodos establecidos de imágenes cerebrales, ya que conllevan restricciones significativas en cuanto a la movilidad del participante.

Cuando el observador permanece estacionario, o cuando la arquitectura se presenta como una imagen, las posibilidades arquitectónicas se limitan a esta perspectiva específica (Heft, 2010). Como afirma Heras-Escribano (2019), todos los organismos perciben las posibilidades directamente, siempre que se realice una exploración sin restricciones y se disponga de suficiente información ecológica en su entorno. La popular ilusión óptica de la Sala de Ames (véase la Figura 5) fue analizada para demostrar que la ilusión podía reducirse mediante la exploración sin restricciones (Gibson, 1979).

Bajo un único punto de observación estacionario de la Sala de Ames, el ojo del observador es engañado. Sin embargo, cuando un observador observa la Sala de Ames desde varios ángulos con información binocular, es fácil notar la pronunciada pendiente del suelo de la sala. Normalmente, el techo y el suelo son paralelos y las paredes forman un ángulo recto con el suelo; pero al observar la Sala Ames, el observador solo puede asumir que la sala es geométrica si se restringe la exploración activa. Una vez que el observador descubre las condiciones anormales de la Sala Ames mediante la exploración activa, rechazará inmediatamente su suposición previa y también la impresión ilusoria existente (Gibson, 1979). Por lo tanto, la exploración activa es el enfoque ecológico fundamental para investigar la percepción de los agentes sobre las posibilidades arquitectónicas.



[Fig. 7] Sala de Ames

Estudiar la utilidad y la belleza en conjunto nos podría proporcionar una visión más completa de cómo se percibe y se actúa sobre la arquitectura, pero esto requiere nuevas soluciones tecnológicas. Es aquí donde entran en juego las técnicas emergentes de imagen cerebral, como Mobile Brain/Body Imaging (MoBI), que supera las limitaciones de los métodos de imagen cerebral estacionarios predominantes y mejoran la validez ecológica. Esto se debe a su enfoque multimétodo para obtener imágenes de la dinámica cerebral en humanos que se mueven activamente e interactúan con el entorno. Requieren de soluciones de hardware y software adecuadas, así como métodos de análisis basados en datos. Es importante que tanto la dinámica cerebral como la conductual se registren sincronizadamente. Para llevar a cabo estas investigaciones se pueden integrar también pantallas de realidad virtual (RV) o realidad aumentada (RA).

Futuro de la Neuroarquitectura

Aborda las tendencias emergentes, las colaboraciones interdisciplinarias y el impacto de tecnologías como la IA y el big data en el diseño arquitectónico.

- o Inteligencia artificial y edificios inteligentes
- o El papel del Big Data en el diseño arquitectónico
- o Colaboración interdisciplinaria en Neuroarquitectura

Un ejemplo de artículo científico muy interesante de esta línea de investigación es el titulado **“Síntesis entre modelos de lenguaje y lenguaje de patrones: una herramienta híbrida para el diseño arquitectónico centrado en el ser humano”**, de los autores *Bruno Postle* y *Nikos A. Salingaros* que profundiza en la utilización de la Inteligencia Emocional para diseñar con parámetros óptimos de la Neuroarquitectura.

La propuesta de la que habla este artículo es acerca de una herramienta de diseño arquitectónico que fusiona el lenguaje de patrones creado por Christopher Alexander con los modelos de lenguaje a gran escala (LLM), cuya meta es restaurar una arquitectura enfocada en las personas; que fomente la salud emocional, sensorial y cognitiva, a través de la utilización de tecnologías emergentes como la inteligencia artificial generativa.

El trabajo se basa en una crítica a la arquitectura moderna, que está regida por un enfoque minimalista y soluciones deshumanizadas. Los autores sostienen que la arquitectura debería enfocarse en promover la experiencia vivencial de los usuarios, lo cual el lenguaje de patrones posibilita, aunque se había quedado rezagado debido a su complejidad técnica. Los LLM pueden procesar el lenguaje natural y producir narrativas espaciales, lo que los convierte en aliados fundamentales para democratizar ese conocimiento.

El artículo expone un método que transforma patrones arquitectónicos en un lenguaje accesible, entrena un modelo de lenguaje con esos datos y lo incorpora a una plataforma participativa. Esta herramienta fue utilizada en un estudio de caso sobre el diseño arquitectónico de un edificio universitario destinado a un departamento académico. En este, los usuarios (estudiantes, docentes y personal) colaboraron con el sistema para manifestar sus necesidades y ver las sugerencias que se habían hecho a partir de patrones como los espacios intermedios (Patrón 112), las áreas verdes exteriores (Patrón 146) o la luz natural en dos lados (Patrón 159). Todos estos patrones son interpretados por el modelo como narrativas arquitectónicas y posteriormente se representan visualmente a través de medios gráficos. Las ilustraciones se utilizan para mostrar cómo la IA generativa puede incorporarse en un proceso creativo que sigue principios humanistas y orientados al usuario. A continuación, se muestran las visualizaciones más significativas del producto proyectual:



[Fig. 8] Patio principal del edificio del campus. Imagen generada por ChatGPT o3



[Fig. 9] Asientos de ventana. Imagen generada por ChatGPT o3

Los datos indican que el modelo creó narrativas espaciales útiles y coherentes, superando la funcionalidad, así como el bienestar y el estímulo creativo a otros edificios académicos existentes con los que se compararon.

Sin embargo, el artículo identifica las limitaciones de los LLM actuales: pueden tener alucinaciones, carecen de experiencia sensorial y necesitan supervisión humana continua. No obstante, los autores confían en el progreso tecnológico para un uso más preciso en el futuro.

En conclusión, los autores sugieren que la inteligencia artificial generativa, si es utilizada con propósito ético y evidencia científica, no solamente puede contribuir a la automatización de tareas, sino también a redirigir la arquitectura hacia una práctica más sensible, participativa y en consonancia con el bienestar humano.

Experiencia del usuario y bienestar

Esta línea de investigación se centra en la intersección de la neurociencia y las estrategias de diseño que mejoran la salud, la comodidad y el bienestar general del usuario.

- o Diseño para la salud y la restauración
- o El impacto de la luz y la naturaleza en el cerebro
- o Neurociencia social y diseño de espacios públicos

Un ejemplo de artículo científico muy interesante de esta línea de investigación es el titulado **“Beneficios para la salud de los jardines en los hospitales”**, del autor Roger S. Ulrich que profundiza en la utilización de la Inteligencia Emocional para diseñar con parámetros óptimos de la Neuroarquitectura.

Este artículo habla acerca de los beneficios que aportan los jardines en los hospitales y centros de salud, basándose en evidencia científica. Comenta que, a pesar de que en la antigüedad eran de gran importancia, poco a poco se han ido dejando a un lado debido a la relevancia que han cobrado la funcionalidad y la tecnología a lo largo del último siglo. Sin embargo, se ha investigado recientemente que los espacios con elementos naturales tienen un impacto positivo en la salud no solo de los pacientes, sino también del personal sanitario y de los visitantes. Debido a que se destinan grandes sumas de dinero a construcciones hospitalarias a nivel mundial, resultaría una gran oportunidad reintroducir jardines como parte esencial de la infraestructura hospitalaria en el diseño contemporáneo de éstos.

Observar naturaleza tiene muchos beneficios para la salud. Efectos positivos como reducir el estrés, mejorar el estado de ánimo, disminuir los sentimientos negativos y ser un buen distractor ante el dolor y la ansiedad, aparecen con solo observar elementos naturales de 3-5 minutos. Además, se ha comprobado que puede acelerar la recuperación postoperatoria, la estancia hospitalaria y reducir el consumo de calmantes en pacientes.

Para los trabajadores hospitalarios, observar naturaleza también supone beneficioso, ya que puede contribuir a disminuir el agotamiento laboral y mejorar la satisfacción en el trabajo. Esto puede beneficiar a los pacientes y suponer un ahorro económico para los centros sanitarios.

Para que un jardín hospitalario resulte efectivo debe disponer de vegetación abundante, de flores, agua tranquila y sonidos naturales. Se deben evitar materiales duros en exceso como el hormigón, ruidos urbanos u obras de arte abstractas que puedan resultar confusas para los pacientes. Estos jardines podrían funcionar además como espacios de socialización y apoyo emocional entre pacientes, familiares y trabajadores, lo que fomentaría aún más la recuperación. En definitiva, son una herramienta terapéutica que mejora la salud y el entorno hospitalario.



[Fig. 10, 11] Khoo Teck Puat Hospital – Yishun, Singapur

La percepción sensorial y el entorno construido

Aquí se investiga cómo el diseño arquitectónico influye en diversas experiencias sensoriales, incluida la visión, el sonido y el tacto.

- o Percepción visual y arquitectónica: la luz, el color, la forma y la disposición espacial
- o Percepción auditiva y diseño acústico
- o Percepción háptica, materialidad y encarnación

El siguiente estudio científico dentro de esta línea de investigación se titula **“Diseño para el bienestar humano: La integración de la Neuroarquitectura en el diseño. Una revisión sistemática”** y está realizado por *Hala Medhat Assema, Laila Mohamed Khodeirb, Fatma Fathyc*. Es, sin duda, uno de los estudios científicos más relevantes de este Trabajo Fin de Grado, ya que en él aparecen descritas las conclusiones más recientes de los parámetros de la Neuroarquitectura que se van a analizar en los tres casos de estudio seleccionados.

El artículo empieza comentado que, según (Nicolini, 2022), existen ocho pilares del bien estar humano: físico, emocional, intelectual, social, financiero, espiritual, ocupacional y ambiental. Y, como ya se ha comentado anteriormente, para crear espacios que promuevan el bienestar humano es importante explorar cómo el entorno construido afecta a los seres humanos. Es por ello que tanto neurocientíficos como investigadores de campos interrelacionados colaboran y trabajan conjuntamente para explicar esta compleja relación entre el entorno construido y los cambios que éstos producen en los seres humanos de manera neurológica, fisiológica, psicológica y conductual.

Este estudio científico, por lo tanto, es una revisión sistémica cualitativa centrada en 31 artículos de revistas científicas, todos ellos enfocados en el entorno construido interior. Para resumir el progreso alcanzado en esta línea de investigación, es decir, los efectos emocionales, fisiológicos, psicológicos y cognitivos de los elementos de la neuroarquitectura en humanos, se crea una tabla con la revisión de estos artículos.

Tabla 1. Elementos de la neuroarquitectura y su impacto en el bienestar humano.

| Elemento de diseño | Pilar físico (fisiológico) | Pilar intelectual (cognitivo) | Pilar emocional | Pilar social (conductual) |
|--------------------------|--|--|--|---|
| Formas 3D simétricas | | Actividad cerebral en la corteza temporal; preferidas frente a las asimétricas | Disminuye la satisfacción | |
| Formas 3D asimétricas | | Mayor exigencia cognitiva | Genera emociones variadas | |
| Formas 3D curvilíneas | | Estimula percepción visual y espacial | Mayor respuesta de miedo que formas rectas | Preferidas por no expertos; generan atracción |
| Formas 3D angulosas | | | | Preferidas por expertos |
| Temperatura del color | Variabilidad de ritmo cardíaco y actividad dérmica | Colores fríos mejoran atención; cálidos memoria | | |
| Contraste de color | | Mejora la memoria | | |
| Colores brillantes | | Incrementan atención y resolución de problemas | Causan emociones positivas como satisfacción | |
| Colores oscuros (madera) | Menor sudoración humana | | | |
| Ambientes amueblados | Mayor ritmo cardíaco y actividad cerebral frontal | Mejoran funciones cerebrales | Menor estrés con muebles flexibles | Más actividad física |
| Ambientes sin muebles | | Menor coherencia cognitiva | | |
| Formas 2D lineales | | Menor actividad en corteza cingulada anterior | Menor placer y activación emocional | No afectan en decisiones espaciales |
| Formas 2D curvilíneas | Disminuyen ritmo cardíaco | Mayor actividad en corteza cingulada anterior | Mayor atracción; activa amígdala | Fomentan comportamiento de acercamiento |
| Altura del techo (baja) | | Estimula procesamiento específico de objetos | Baja valoración de la belleza; emociones negativas | Fomenta decisión de salir del espacio |
| Altura del techo (alta) | | Estimula creatividad y percepción espacial | Asociada a sensación de libertad | Mejora la orientación espacial |
| Proporciones (ancho) | No medida experimentalmente; menor activación emocional | Peor atención, memoria y rendimiento en aulas más anchas | | |
| Proporciones (estrecho) | | Mejora atención y memoria | | |
| Olores (plantas) | | | Mayor confort y preferencia emocional | |
| Sonidos (silencio/ruido) | La música reduce presión arterial diastólica | Espacios silenciosos mejoran percepción y atención | Ruido genera estrés; sonidos naturales lo reducen | |
| Falta de vegetación | | | Genera sentimientos de estrés, opresión | Efectos negativos en la estimación de la distancia |
| Vegetación | Reduce dolor y ansiedad | Activa cognición espacial | Reduce estrés y ansiedad; genera satisfacción | Mejora la conexión con el entorno |
| Materiales naturales | Reduce ritmo cardíaco y sudoración; mejora visión cercana | Mejor atención; menor coherencia que materiales naturales | | |
| Materiales artificiales | | Mejorar atención; menor coherencia que materiales naturales | | |
| Iluminación natural | Disminuye cortisol, estrés y estancia hospitalaria | Mejora funciones cerebrales necesarias para la escritura | Reduce el estrés | |
| Iluminación artificial | La luz >7500K eleva la presión; la luz blanca regula ritmos de sueño | Iluminación clara y uniforme mejora visión y atención | Luz azul acelera relajación tras estrés; luz blanca regula estado de ánimo | Iluminación cálida y suave facilita conversaciones reflexivas |

[Tabla 1]

Otro artículo relacionado titulado "**Molestias visuales, ineficiencia neuronal y respuesta hemodinámica corporal**", escrito por *Arnold Wilkins*, refuerza la idea de que la percepción visual está estrechamente ligada con la manera eficiente o ineficiente en la que se lleva a cabo el procesamiento neuronal.

Mediante datos empíricos, se revisan varios elementos de diseño neuroarquitectónicos incluidos en la tabla anterior (colores, formas, iluminación, proporción y materialidad). En este artículo se comenta cómo algunos estímulos o imágenes antinaturales pueden crear incomodidad visual, así como una mayor activación neuronal, lo que a su vez sugiere una menor eficiencia en relación con el sistema nervioso. El autor explica que cuando estas imágenes antinaturales poseen un contraste excesivo, líneas diagonales, colores saturados o luces parpadeantes, el cerebro tiene que trabajar más para procesarlas, produciendo respuestas negativas.

Wilkins identifica cuatro características distintivas de la naturaleza que, cuando no se cumplen, llevan a la incomodidad:

- o Espectro de Fourier con pendiente $1/f$ (patrón de luminancia natural).
- o Contorno predominantemente vertical u horizontal.
- o Contrastes de color suaves entre regiones adyacentes.
- o Ausencia de parpadeo.

También se incide en el estudio científico que la respuesta a estos estímulos antinaturales no se da de la misma manera en todas las personas. Aquellas que son más sensibles pueden llegar incluso a sufrir de migrañas. Algunos ejemplos:

Ejemplo de Confort Visual



[Fig. 12] Cabañas & Lodges, India

Ejemplo de Malestar Visual



[Fig. 13] Addenbrooke's Multi Storey Car Park, Cambridge

El siguiente estudio, también relacionado con la percepción sensorial y el entorno construido de título **“Exploración de la aplicación de principios neuroestructurales al diseño de espacios públicos en campus universitarios”** y autores *Qihang Zhou y Xingxing Fang*, investiga en este caso la manera en la que ciertos principios de la neuroarquitectura influyen en el bienestar, la concentración y la experiencia académica de los estudiantes en espacios públicos de un campus universitario, como bibliotecas, aulas y salas de estudio.

El estudio comienza comentando que el diseño de los espacios públicos que conforman un campus universitario suele enfocarse en las necesidades funcionales, y no tanto en las necesidades psicológicas y cognitivas del estudiante. Al diseñar de esta manera, estos espacios públicos acaban careciendo de aspectos importantes como lo son la configuración de luz natural, la optimización del entorno acústico o la combinación de colores.

Es por esto que, teniendo en cuenta estas deficiencias, el objetivo de este estudio es explorar cómo la aplicación de ciertos principios neuroestructurales en el diseño de estos espacios puede mejorar las necesidades de aprendizaje y sociales de los estudiantes, poniendo así solución a los posibles problemas futuros. Son cinco los elementos clave del diseño nombrados: luz natural, materiales naturales, formas espaciales, configuración del mobiliario y presencia de elementos naturales.

A continuación, se muestra una tabla con los principales atributos del diseño neuroestructural aplicados a los espacios públicos del campus y sus efectos sobre la percepción, el bienestar y la experiencia académica de los estudiantes.

Tabla 2. Resumen de los hallazgos de investigaciones previas sobre la relación entre la neuroarquitectura y los espacios públicos del campus.

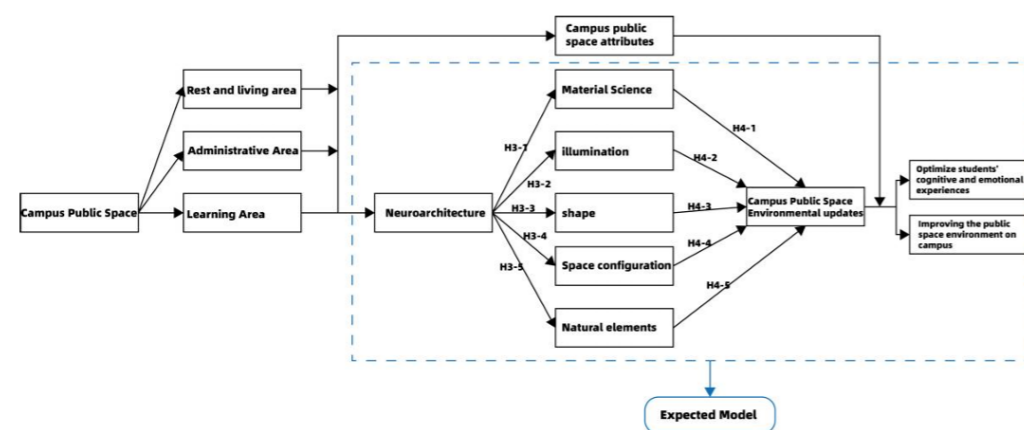
| Causalidad | Parámetro | Descripción |
|------------|------------|---|
| | Materiales | Materiales naturales (p. ej., madera). Suelen proporcionar mayor coherencia, ayudan a reducir la frecuencia cardíaca y la sudoración, mejoran la agudeza visual y hacen que el entorno sea más cómodo y relajante. |
| | | Materiales no naturales (p. ej., metal, hormigón o vidrio). Aunque son más llamativos en el diseño, pueden ser menos coherentes en términos cognitivos, lo que puede llevar a distracción. |

| | | |
|-------------------------------------|---------------------------|--|
| Propiedades de la Neuroarquitectura | Iluminación | Luz natural. Muy eficaz para reducir el estrés y los niveles de cortisol, correlacionándose con un mejor funcionamiento cerebral. |
| | | Luz artificial. Especialmente la de alta temperatura de color (LED), puede afectar al estado de ánimo y a la función cognitiva. Ajustes apropiados de iluminación (p. ej., luz blanca suave o indirecta) pueden crear un entorno más cómodo y propicio para el aprendizaje. |
| | Geometría | Simetría. Puede provocar emociones y reducir la satisfacción y la euforia, pero promueve la actividad en la parte posterior del cerebro y se considera una forma preferida. |
| | | Asimetría. Mayor funcionamiento cognitivo y estimula las emociones. Las formas curvas mejoran la memoria y activan la percepción visual y espacial, aunque pueden provocar una respuesta emocional de miedo. |
| | Configuración del espacio | Mobiliario flexible. Mejor funcionamiento cerebral y rendimiento en matemáticas, puede reducir el estrés y promover una mayor actividad física. |
| | | Mobiliario fijo. Puede no apoyar de manera efectiva los estados cognitivos y emocionales. La configuración del entorno acústico también afecta a la percepción emocional humana. |
| | Vegetación | La presencia de vegetación y otros paisajes naturales reducen significativamente el estrés y la ansiedad, aumentan la activación y el placer, y tienen un impacto físico y emocional positivo en los espacios de aprendizaje. |
| | | La falta de vegetación puede generar depresión emocional, activación fisiológica y afectar negativamente a la percepción de distancias. |

[Tabla 2]

La investigación está basada en la Universidad de Hainan (China), cuyos espacios públicos se entienden como entornos con múltiples atributos que influyen en cinco dimensiones clave de la experiencia estudiantil (H4-1 a H4-5). Estas dimensiones están relacionadas con cinco variables principales (H3-1 a H3-5) que se hipotetiza que pueden generar efectos positivos en el bienestar y la interacción de los estudiantes dentro del campus. Estas cinco dimensiones clave son las siguientes:

- H4-1: la elección de materiales que generan bienestar (p. ej., madera, piedra)
- H4-2: la iluminación natural y artificial equilibrada
- H4-3: las formas espaciales que favorezcan la comodidad y el movimiento
- H4-4: la distribución del mobiliario y acústica optimizados
- H4-5: la incorporación de elementos naturales (p. ej., plantas o agua)



[Fig. 14] Modelo de hipótesis de investigación

Para obtener los resultados finales, la investigación realizó una aproximación cuantitativa a partir de un cuestionario estructurado derivado del modelo AIDA (atención, interés, deseo, acción), que indaga sobre la percepción de los estudiantes en torno a los cinco elementos principales del diseño espacial nombrados anteriormente. El cuestionario está diseñado en base a una escala Likert de 5 puntos (1-muy insatisfecho/ muy reacio; 5-muy satisfecho/ muy dispuesto) que mide la satisfacción y disposición para participar. La recogida de la información se hizo con la plataforma Questionnaire Star y en cuanto a su análisis, se aplicaron pruebas y análisis estadísticos como KMO, Bartlett, alfa de Cronbach, análisis factorial y de frecuencias, con lo que se obtuvo información fiable sobre cómo el diseño incide en el bienestar, la concentración y la experiencia emocional de los estudiantes.

En cuanto a los resultados finales obtenidos destacan: un 58,21% de los estudiantes consideró que aumentar la luz natural ayudaría a reducir el estrés psicológico; un 69,49% consideraba que una mejor forma y disposición del espacio sería favorable; un 73,33% deseaba que se incluyeran materiales ecológicos; y a un 37,44% les parecía interesante que se incluyeran elementos naturales. Además, el 74,87% de los encuestados se mostraron "dispuestos" o "muy dispuestos" en participar en mejorar estos espacios públicos del campus.

El estudio concluye que el diseño neuroestructural responde tanto a las necesidades de funcionalidad del espacio como a la mejora del bienestar emocional y cognitivo. A pesar de que la muestra era sólo una universidad, los autores proponen que estos resultados sirvan de base y referencia para futuras intervenciones arquitectónicas más humanas, más sostenibles, más adaptadas a las necesidades reales de los estudiantes en las universidades.

Después de haber leído estos tres estudios "Diseño para el bienestar humano: La integración de la Neuroarquitectura en el diseño. Una revisión sistemática", "Molestias visuales, ineficiencia neuronal y respuesta hemodinámica corporal" y "Exploración de la aplicación de principios neuroestructurales al diseño de espacios públicos en campus universitarios", se puede concluir que el entorno construido provoca efectos sobre la experiencia neurológica, fisiológica, psicológica y conductual del ser humano. En cuanto al ámbito educativo se refiere, esta relación cobra más importancia aún, dado que entran en la ecuación espacios en los que el confort, la atención y la regulación sensorial son determinantes en el rendimiento académico.

Casos de estudio.

Ubicación.

Casos de estudio



ⓘ [Fig. 15] Plano de situación de las tres salas de estudio. E. 1:25000

Estructura del análisis.

Casos de estudio

En este apartado se va a proceder a realizar un análisis comparativo de tres salas de estudio situadas en tres espacios diferentes pertenecientes a la Universidad de Zaragoza. La primera sala de estudio está situada en la Biblioteca CAI Universidad de Zaragoza, la segunda es la Sala Tomás Pollán, que forma parte de la Escuela de Ingeniería y Arquitectura (EINA), y la tercera sala de estudio está situada en la facultad Filosofía y Letras. Todas ellas se han elegido debido a las diferentes características que presentan, como la orientación de la sala, el año de construcción del edificio al que pertenecen, el arquitecto/a que las ha diseñado, la capacidad de la sala o los materiales empleados en ella, entre otros.

Primero se va a llevar a cabo la presentación de las tres salas de estudio, seguido de una ficha de análisis con los parámetros a analizar. Y, a continuación, se recopilan los criterios de cuantificación y calificación de dichos parámetros basados en los estudios científicos previos. Para llevar a cabo su cuantificación, se ha escogido la escala de Likert, que es una técnica de medición sobre cinco, donde uno representa "deficiente" y cinco "sobresaliente". Como no se pueden medir todos los parámetros de la misma manera, se ha adaptado este método de medición a cada uno de ellos. Una vez se ha aplicado la ficha a cada una de las tres salas, se procede a hacer una comparativa de ellas con el objetivo de conocer, desde una perspectiva cualitativa, el grado de respuesta de estos entornos construidos a los conceptos que hasta día de hoy conocemos de la Neuroarquitectura. Finalmente, se procede a realizar una conclusión general del presente Trabajo Fin de Grado.

Caso 1. Biblioteca CAI Universidad de Zaragoza.

Casos de estudio

Arquitecto/s desconocido/s

Año: 1990

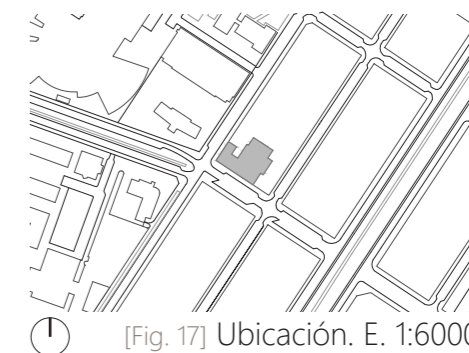
Superficie: 132 m²

Capacidad: 84 plazas

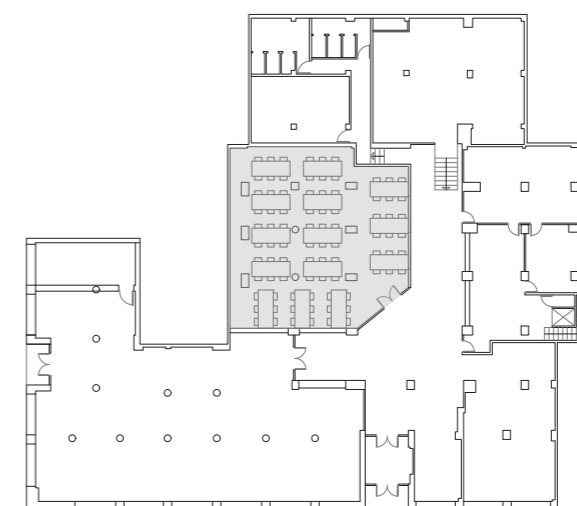
Uso: Individual

Ciudad: Zaragoza

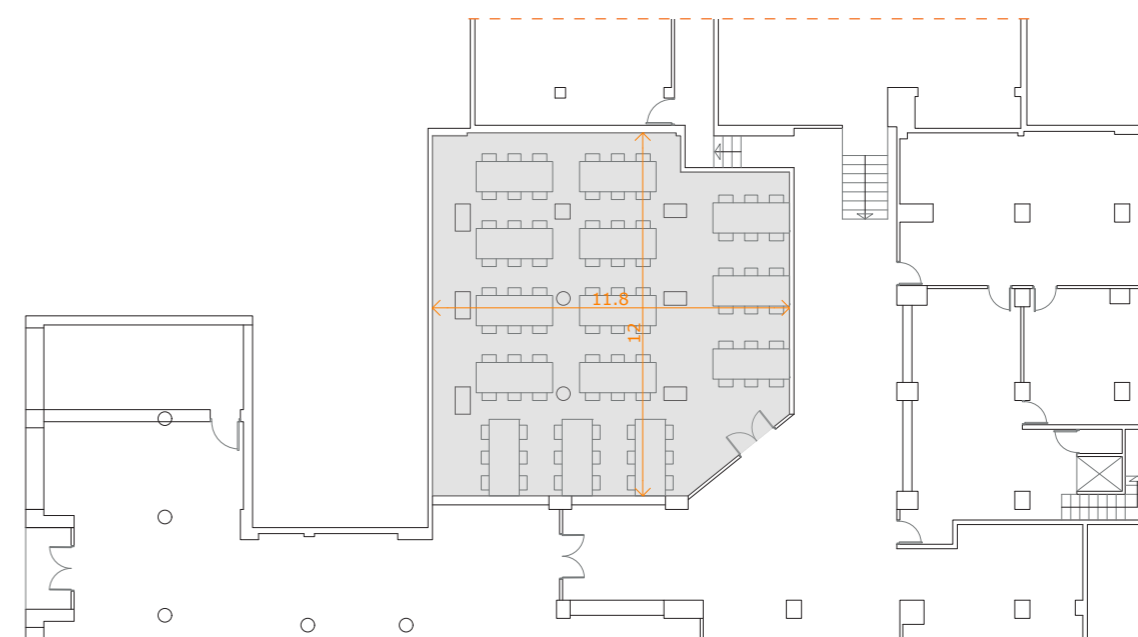
País: España



[Fig. 16] Vista general de la sala de estudio de la Biblioteca CAI Universidad de Zaragoza



[Fig. 18] Planta baja. E. 1:500



[Fig. 19] Planta sala de estudio. E. 1:250

Caso 2. Sala Tomás Pollán. EINA, Unizar.

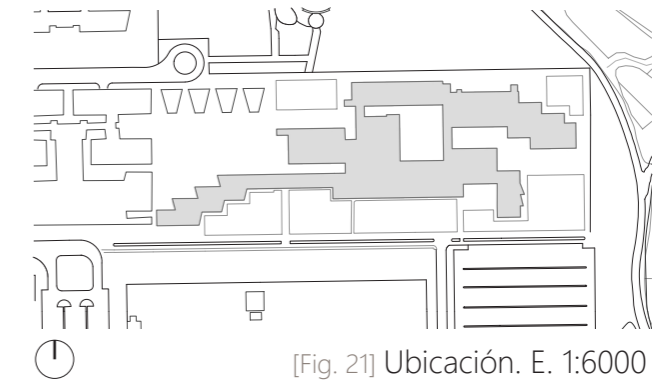
Casos de estudio



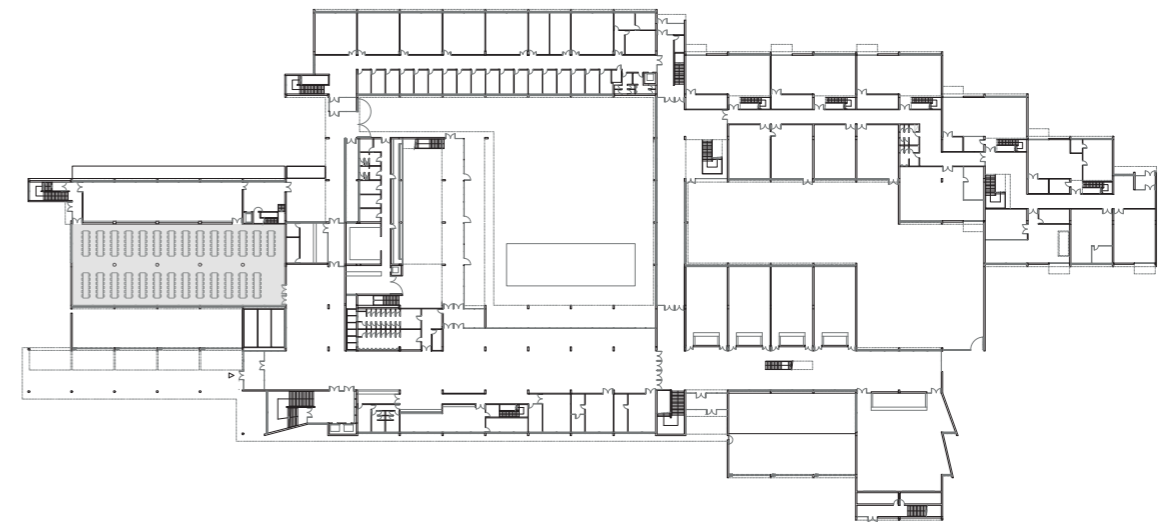
[Fig. 20] Vista general de la Sala Tomás Pollán (EINA)

Basilio Tobías Pintre

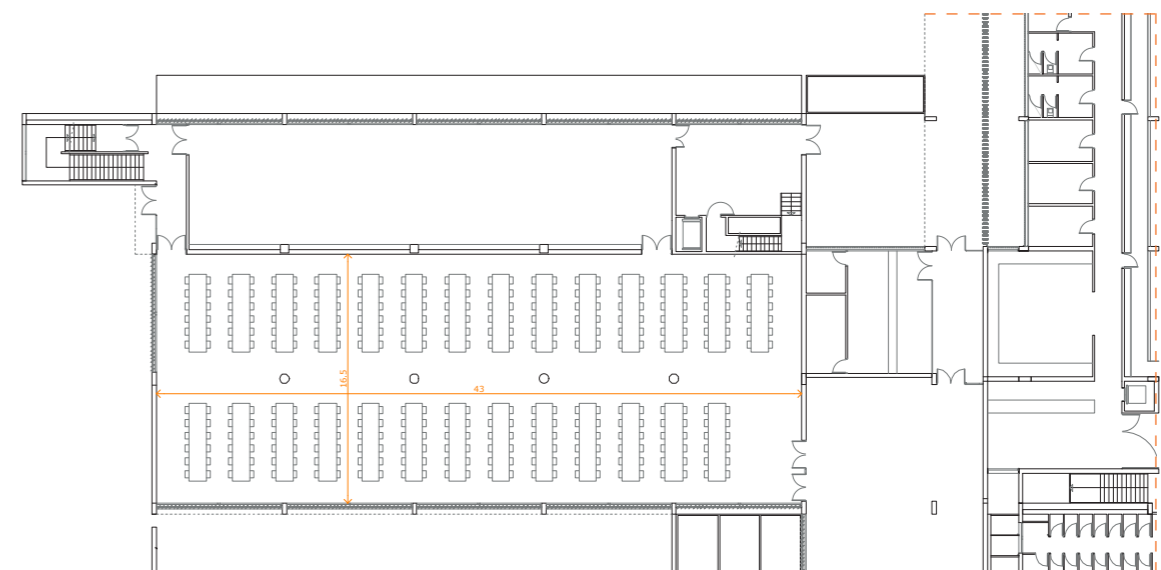
Año: **1996-2000**
Superficie: **709,5 m²**
Capacidad: **420 plazas**
Uso: **Mixto** (individual + grupal)
Ciudad: **Zaragoza**
País: **España**



[Fig. 21] Ubicación. E. 1:6000



[Fig. 22] Planta baja. E. 1:1500



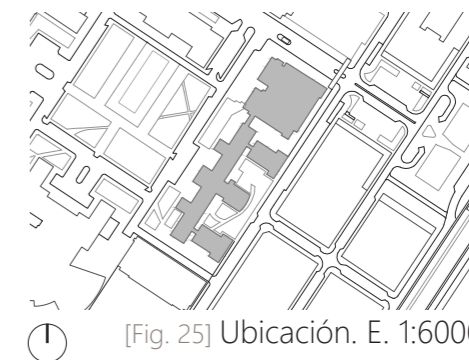
[Fig. 23] Planta sala de estudio. E. 1:500

Caso 3. Facultad de Filosofía y Letras, Unizar.

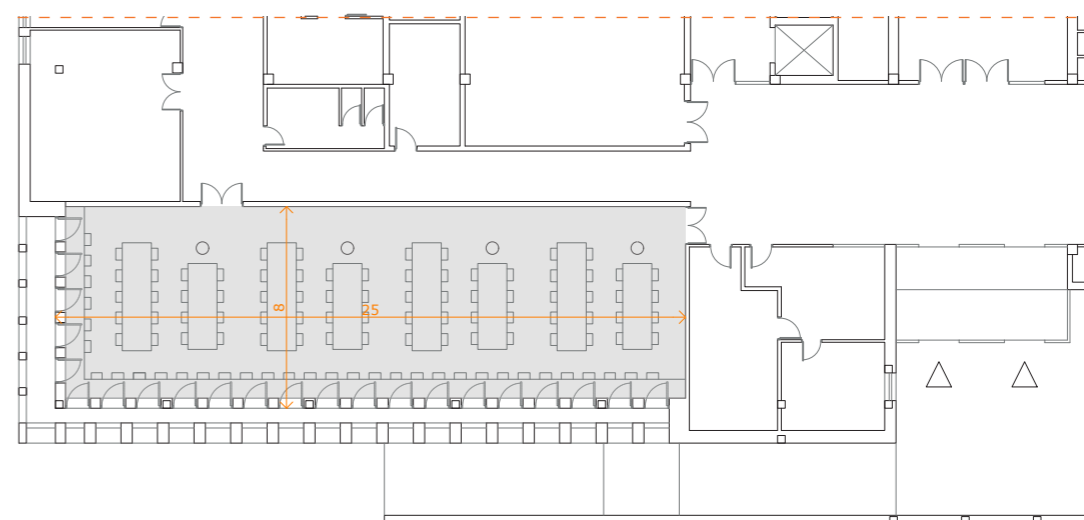
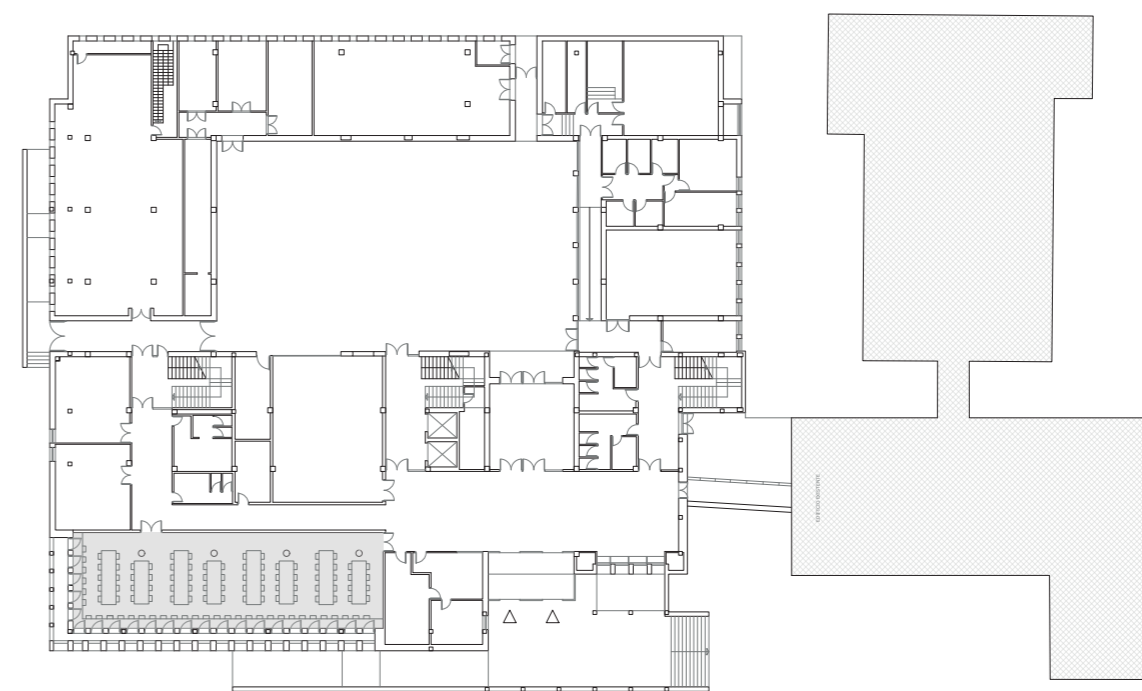
Casos de estudio

Magén Arquitectos

Año: 2018-2023
Superficie: 200 m²
Capacidad: 99 plazas
Uso: Individual
Ciudad: Zaragoza
País: España



[Fig. 24] Vista general de la sala de estudio de la Facultad de Filosofía y Letras



Ficha de análisis comparativo.

Casos de estudio

La escala de Likert va a ser el método de evaluación de los parámetros escogidos.

[Tabla 3]

| | Deficiente | Insuficiente | Medio | Suficiente | Sobresaliente |
|--------------|------------|--------------|--------|------------|---------------|
| VALOR | 0% | 1-25% | 26-50% | 51-70% | 71-100% |

| PARÁMETRO | DESCRIPCIÓN | RESULTADOS | VALOR |
|---------------------------|---------------------|------------|-------|
| Materiales | Naturales | | |
| | No naturales | | |
| Iluminación | Natural | | |
| Geometría | Simetría | | |
| | Asimetría | | |
| Formas | Angulares | | |
| | Curvilíneas | | |
| Vegetación | Presencia/ausencia | | |
| Configuración del espacio | Mobiliario flexible | | |
| | Mobiliario fijo | | |
| Altura techo | Alto | | |
| | Bajo | | |
| Proporción | Ancho | | |
| | Estrecho | | |
| Colores | Intensos/vivos | | |
| | Neutros | | |

[Tabla 4]

Cuantificación de los parámetros.

Casos de estudio

Una vez elegidos los parámetros que se quieren cuantificar en cada caso de estudio, es necesario acotar cada uno de éstos previamente según los criterios óptimos de la Neuroarquitectura que se conocen a día de hoy para así poder evaluar los resultados finales más precisos posibles. Para conseguirlo, se hace uso de diferentes métodos de medición, eligiendo el más adecuado para cada uno de ellos. A continuación, se citan las publicaciones seleccionadas que describen los criterios adoptados para así poder establecer su evaluación.

Para cuantificar los **materiales** (naturales vs. no naturales) y así poder asignar un porcentaje con la escala Likert se calculará el porcentaje de superficie a la vista (suelo, paredes, techo, mobiliario) que esté hecha con materiales naturales o no naturales. Entendemos como materiales naturales, por ejemplo, la piedra, la madera, la arcilla o el corcho; y como materiales no naturales el hormigón, el cemento, el acero, el vidrio, el PVC, el yeso industrializado, la pintura o los paneles compuestos como los tableros de contrachapado, entre otros (Olusola Oladapo et al., 2024). Esta diferenciación obliga a acotar lo que se entiende por material natural o no en este estudio ya que, aunque los materiales naturales luego pasen por procesos de industrialización, como podría ser el caso de la madera, se seguirán considerando como materiales naturales aquellos cuyo acabado final se presenta a la vista.

| Materialidad del espacio | Porcentaje | Valor Likert |
|---|------------|--------------|
| Solo materiales no naturales | 0% | 1 |
| Predominio de materiales no naturales | 1-25% | 2 |
| Materiales naturales y no naturales por igual | 26-50% | 3 |
| Predominio de materiales naturales | 51-70% | 4 |
| Conformado prácticamente por materiales naturales | 71-100% | 5 |

[Tabla 5]

En cuanto a la **iluminación** natural, se cuantificará igual que los materiales, según el porcentaje de superficie del espacio que recibe luz natural directa o indirecta la mayor parte del día. Se tendrán en cuenta aspectos como la orientación del espacio, el tamaño y forma y colocación de las ventanas o si hay obstáculos exteriores como edificios, árboles o lamas, entre otros, que puedan tapan la entrada de luz. Por otro lado, en cuanto a la iluminación artificial se refiere, no se llevará a cabo su cálculo en estos tres casos de estudio debido a la falta de instrumentación adecuada para su precisa cuantificación.

| Condición del espacio | Porcentaje | Valor Likert |
|---|------------|--------------|
| Espacio sin huecos, totalmente opaco | 0% | 1 |
| Con huecos, pero sin contacto directo con el exterior | 1-25% | 2 |
| Huecos en varios puntos + iluminación baja | 26-50% | 3 |
| Huecos en varias zonas + iluminación media | 51-70% | 4 |
| Muchos huecos + iluminación alta | 71-100% | 5 |

[Tabla 6]

(Nikos A., 2020) respalda la idea de que la **geometría** arquitectónica más efectiva no es la simetría o la asimetría en su forma absoluta, sino la asimetría equilibrada. "Tanto la arquitectura formal como la vernácula a lo largo de la historia están llenas de simetrías aproximadas y muestran la variedad necesaria. Al equilibrar con éxito una simetría global con rupturas locales de simetría, los edificios asimétricos con sentido estructural pueden parecer, a primera vista, perfectamente simétricos" (p. 253). Esto es así, ya que se combina lo mejor de cada una de ellas. La simetría puede reducir la satisfacción, pero es preferida por los usuarios por su efecto tranquilizador. La asimetría, por otro lado, aunque requiere de una mayor exigencia cognitiva, es altamente estimulante (Medhat Assem et al., 2023)(Zhou & Fang, 2024). Combinadas producen un efecto sensorialmente enriquecedor en el usuario.

| Geometría espacial | Valor Likert | Interpretación arquitectónica |
|--------------------------------|-------------------|---------------------------------|
| Asimetría caótica | 1 - Deficiente | Demasiados estímulos |
| Predominio de la asimetría | 2 - Insuficiente | Bastantes estímulos |
| Predominio de la simetría | 3 - Medio | Efecto tranquilizador |
| Simetría y asimetría por igual | 4 - Suficiente | Equilibrio visual |
| Asimetría equilibrada | 5 - Sobresaliente | Alto nivel de placer y atención |

[Tabla 7]

Las **formas** que configuran un espacio, ya sean angulares o curvas, generan impacto en la respuesta emocional y cerebral del ser humano. Investigaciones como la de (Banaei et al., 2017) o la de (Medhat Assem et al., 2023) demuestran que las formas curvas resultan más beneficiosas a nivel emocional y cognitivo al producir emociones como placer, así como una mayor activación de la amígdala, ya que éstas ayudan a percibir el espacio de manera más fluida y continua. Además, también ayudan a disminuir el ritmo cardíaco. Sin embargo, el exceso de uso de formas curvas podría llegar a resultar estresante para el usuario. Las formas angulares, en cambio, tienden a generar sensaciones menos agradables como la evitación y una menor actividad emocional. Es por todo esto que, para que un espacio pueda alcanzar el mayor confort y ser fluido y relajante, debe presentar de forma dominante y armónica formas curvas.

| Formas espaciales | Valor Likert | Interpretación arquitectónica |
|-------------------|-------------------|----------------------------------|
| 0% | 1 - Deficiente | Solo formas angulares |
| 1-25% | 2 - Insuficiente | Predominio de formas angulares |
| 26-50% | 3 - Medio | Formas rectas y curvas por igual |
| 51-70% | 4 - Suficiente | Predominio de formas curvas |
| 71-100% | 5 - Sobresaliente | Espacio fluido y natural |

[Tabla 8]

Aunque es bien sabido que la presencia de **vegetación** en el entorno construido es capaz de reducir el estrés, mejorar el estado de ánimo, disminuir los sentimientos negativos y ser un buen distractor ante el dolor y la ansiedad (Ulrich, s. f.), entre otros, quizá sea el más complejo de cuantificar. Para ello, se tendrá en cuenta si hay o no plantas dentro del espacio a analizar y si hay vistas directas a entornos verdes. La tabla en cuestión queda de la siguiente manera:

| Condición del espacio | Porcentaje | Valor Likert |
|--|------------|--------------|
| Sin vegetación ni vistas naturales | 0% | 1 |
| 1 o 2 plantas decorativas visibles | 1-25% | 2 |
| Plantas visibles desde varios puntos | 26-50% | 3 |
| Plantas en varias zonas + vistas exteriores verdes | 51-70% | 4 |
| Muchas plantas + vistas exteriores verdes frecuentes | 71-100% | 5 |

[Tabla 9]

A la hora de calificar la **configuración del espacio** se tendrá en cuenta el mobiliario que conforma la sala, si éste es flexible o fijo. El mobiliario flexible es aquel que se puede mover con facilidad y se puede reorganizar según las necesidades del usuario. En cambio, el mobiliario fijo es aquel que es rígido, que no se puede mover ni adaptarse a las exigencias del usuario. Para llevar a cabo su cuantificación se contará o estimará la cantidad de elementos flexibles frente a los fijos:

| % mobiliario flexible | Valor Likert | Interpretación arquitectónica |
|-----------------------|-------------------|-------------------------------|
| 0% | 1 - Deficiente | Muy rígido |
| 1-25% | 2 - Insuficiente | |
| 26-50% | 3 - Medio | |
| 51-70% | 4 - Suficiente | |
| 71-100% | 5 - Sobresaliente | Muy adaptable |

[Tabla 10]

La **altura del techo** condiciona el tipo de procesamiento mental que se activa en los usuarios. Espacios con techos altos (más de 10 pies \approx 3,05 m) inducen sensaciones de apertura y favorecen un procesamiento relacional o abstracto, mientras que techos bajos (menos de 8 pies \approx 2,44 m) activan la percepción de confinamiento y un procesamiento más específico y concreto (Meyers-Levy & Zhu, 2007). Por ello, contabilizaremos la altura, haciendo uso una vez más de la escala Likert, de la siguiente manera:

| Altura de techo | Valor Likert | Interpretación arquitectónica |
|-----------------|-------------------|--|
| <2,3 m | 1 - Deficiente | Percepción de confinamiento, estrés visual |
| 2,3-2,5 m | 2 - Insuficiente | Puede generar sensación de encierro |
| 2,6-2,8 m | 3 - Medio | Activación emocional neutral |
| 2,9-3,1 m | 4 - Suficiente | Despierta sensación de apertura sin exceso |
| \geq 3,2 m | 5 - Sobresaliente | Despierta mayor creatividad, libertad |

[Tabla 11]

Para llevar a cabo la cuantificación del parámetro de la **proporción** vamos a hacer uso de la proporción 3:2 (equivalente a 1,5:1) como medida más óptima del espacio. El estudio de (Traboulsi & Felix, 2024) indica que las proporciones cercanas a ésta en aulas educativas favorecen aspectos como la atención, el rendimiento académico y la funcionalidad del espacio. (Green, 1995) refuerza esto diciendo “Según la experiencia y los estudios de preferencias, una forma con una proporción de 1,5:1 es una de las más agradables y fáciles de percibir”. Otros estudios científicos como el de (Medhat Assem et al., 2023) comentan que los espacios más amplios se asocian con un menor rendimiento, y con una menor activación emocional. En contraposición, los espacios más estrechos mejoran la atención y la memoria. La escala Likert adaptada a esta proporción quedaría de la siguiente manera:

| Relación laego/ancho | Valor Likert | Interpretación arquitectónica |
|----------------------|-------------------|----------------------------------|
| >3,0 m | 1 - Deficiente | Espacio excesivamente estrecho |
| 2,6-3,0 m | 2 - Insuficiente | Espacio insuficientemente ancho |
| 2,1-2,5 m | 3 - Medio | Espacio alargado pero funcional |
| 1,6-2,0 m | 4 - Suficiente | Espacio suficientemente estrecho |
| 1,0-1,5 m | 5 - Sobresaliente | Proporción óptima |

[Tabla 12]

Los **colores** tienen un impacto en la memoria y/o en la atención y pueden ser evaluados objetivamente, aunque por desgracia, a día de hoy aún se encuentran limitaciones metodológicas (Llorens-Gámez et al., 2022). En este estudio se expone que los colores fríos (morado, azul, verde) se asocian con una mejor atención y memoria en entornos que requieren cierto grado de concentración, ya que producen una mayor activación neurofisiológica. Otro estudio también comenta el efecto significativo del color en ambientes de lectura y escritura, y llega a la conclusión de que un espacio óptimo es aquel que no posee colores demasiado neutros ni demasiado vivos. Lo ideal es que las paredes del espacio en cuestión sean claras (blancas o neutras), y se incluyan toques de color, por ejemplo, el mobiliario o muros de acento. De esta manera, se consigue un nivel de estimulación ideal, suficiente para la estimulación cerebral, pero sin llegar a resultar una distracción (Barrett et al., 2017).

| Colores | Valor Likert | Interpretación arquitectónica |
|---------|-------------------|--|
| 0% | 1 - Deficiente | Mucho color o solo colores neutros |
| 1-25% | 2 - Insuficiente | Espacio sin apenas color, monótono |
| 26-50% | 3 - Medio | Predominio colores neutros + ligeramente colorido |
| 51-70% | 4 - Suficiente | Predominio de colores neutros + bastante color |
| 71-100% | 5 - Sobresaliente | Equilibrio cromático ideal (colores neutros + vivos) |

[Tabla 13]

Hay más parámetros neuroarquitectónicos que no se han tenido en cuenta para el análisis de los casos de estudio debido a la falta de materiales tecnológicos adecuados para su cálculo: la iluminación artificial, el olor o el entorno acústico, entre otros.

Caso 1. Biblioteca CAI Universidad de Zaragoza.

Aplicación de la ficha



[Fig. 28,29,30,31] Fotografías de la sala de estudio de la Biblioteca CAI (UNIZAR)

Siguiendo la selección de criterios de evaluación desarrollados previamente, se evalúa, a continuación, cada parámetro analizado adjudicando, para ello, el valor más representativo de los especificados en la tabla específica a cada parámetro.

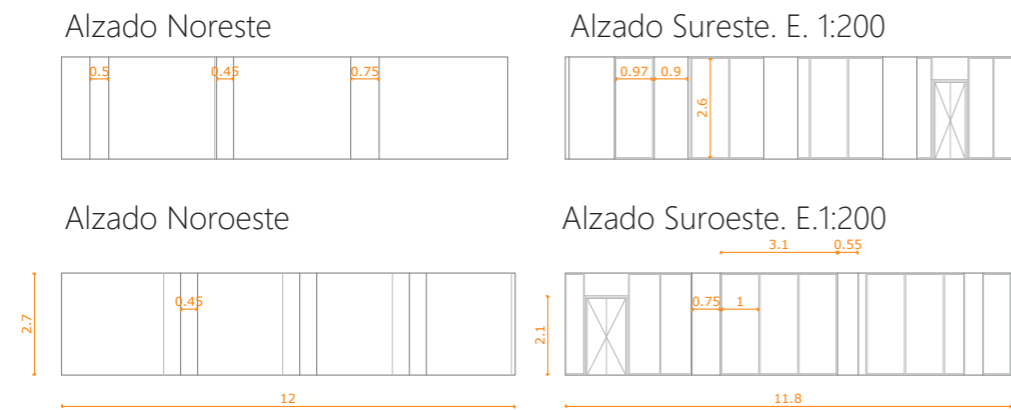
| PARÁMETRO | DESCRIPCIÓN | RESULTADOS | VALOR |
|---------------------------|----------------------------|--|-------|
| Materiales | Naturales | El porcentaje de la superficie de la sala que se considera material natural no alcanza el 1%. | 1 |
| | No naturales | | |
| Iluminación | Natural | No hay huecos con luz natural directa, pero sí cristalerías con algo de vistas a esos huecos. | 2 |
| Geometría | Simetría | La disposición del mobiliario, así como la percepción del usuario hace que el espacio se sienta estimulante, pero sin ser caótico. | 2 |
| | Asimetría | | |
| Formas | Angulares | Área total= 132,3 m ² | 1 |
| | Curvilíneas | Angulares= 131,98 (99,8%) Curvas= 0,32 m ² (0,2%) | |
| Vegetación | Presencia/ausencia | Ni vegetación exterior ni interior. | 1 |
| Configuración del espacio | Mobiliario flexible | Los pilares ofrecen poco rango de movimiento del mobiliario (las mesas), las cuales tampoco son de carácter flexible. | 1 |
| | Mobiliario fijo | | |
| Altura techo | Alto | h= 2,70 m | 3 |
| | Bajo | | |
| Proporción | Ancho | Largo= 12 m, Ancho= 11,8 m | 5 |
| | Estrecho | | |
| Colores | Intensos/vivos | Predominan el verde, el marrón y el gris claro, así como el blanco. Se cuentan como colores neutros. | 3 |
| | Neutros | | |

[Tabla 14]

MATERIALES

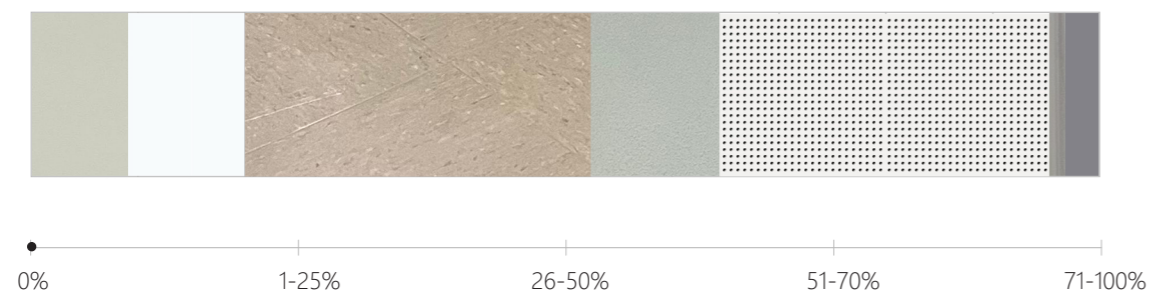
Los materiales visibles que conforman la sala de estudio de la Biblioteca CAI son los siguientes: el acabado de las paredes es un enlucido de yeso pintado con pintura verde claro, el falso techo está hecho de placas de yeso laminado, así como de piezas metálicas, el pavimento es gres porcelánico de tono crema, los marcos de las cristaleras son metálicos, los pilares están revestidos de yeso y pintura, las puertas y los tableros de las mesas son laminados de madera, las patas de las sillas metálicas y el cuerpo de plástico. La única presencia de materiales "naturales", en cuanto a lo puramente estético se refiere, son los pequeños tableros de madera laminada de las mesas, donde se localizan los enchufes. Es tan mínima su superficie que no llega a alcanzar el 1% del total de materiales empleados en la sala. Su valoración final sería de nivel uno.

[Fig. 32]
[Fig. 33]
[Fig. 34]
[Fig. 35]



El siguiente diagrama de materiales expresa de forma visual la proporción de materiales empleados de cada tipo, ordenados de más naturales a menos naturales. El orden en este caso queda así: tablero MDF (9,04%), vidrio (11,43%), gres porcelánico (31,57%), pintura (11,96%), yeso (31,57%), metal (1,19%) y plástico (3,01%).

[Fig. 36]



ILUMINACIÓN

Como se puede observar en la planta arquitectónica, la sala es de carácter interior, por lo que no dispone de huecos que proporcionen entrada de luz natural directa. Sí que cuenta con cristaleras que dan a otra sala que sí dispone de huecos al exterior, pero dichas cristaleras disponen de cortinas que obstaculizan en gran medida las vistas. Esto la clasificaría en un nivel dos en la escala de Likert.



GEOMETRÍA

Si tenemos en cuenta la geometría del espacio desde la perspectiva del usuario, podemos catalogarlo como asimétrico, debido a la diferente colocación del mobiliario a lo largo de toda la sala. Aun siendo asimétrico, el espacio no llega a resultar lo suficientemente caótico como para resultar deficiente, por lo que la valoración que más se ajusta es la perteneciente al nivel dos.



FORMAS

Solo con observar la planta podemos llegar a la conclusión de que, aparte de las dos columnas curvas no se distingue ningún otro elemento curvo en toda la sala. Si hacemos los cálculos superficiales para calcular el porcentaje de formas angulares y de formas curvas correspondiente, obtenemos los siguientes resultados: Área total= 132,3 m². Área de formas curvas= 0,32 m² y, si se lo restamos al total obtenemos el Área de formas angulares= 131,98 m². El porcentaje de formas angulares de la sala es de 99,8% y, por lo tanto, el 0,2% restante corresponde al porcentaje de formas curvas. Si nos fijamos en la tabla con las diferentes cuantificaciones, llegamos a la conclusión de que el nivel pertinente en cuanto a la formalidad del espacio es de uno.



VEGETACIÓN

Como ya se ha comentado anteriormente, la sala es interior, por lo que no cuenta con huecos de luz directa, descartando la posibilidad de que se tengan vistas exteriores verdes desde su interior. Por otro lado, si nos fijamos en las imágenes, observamos que también el interior carece de plantas o de elementos naturales. Esto le otorgaría a la sala un nivel uno en la clasificación de la vegetación del espacio.



CONFIGURACIÓN DEL ESPACIO

Esta sala de estudio, debido a la manera en la que están dispuestos los pilares, no ofrece mucho rango de movimiento del mobiliario, sobre todo de las mesas, por lo que resulta sensato valorar su adaptabilidad en un nivel uno.



ALTURA TECHO

En cuanto a la altura del suelo al falso techo de la sala, ésta es de 2,7 m. Según el baremo de cuantificación de este parámetro, esta altura de techo equivale a un nivel tres en la escala de Likert. Esto quiere decir que el cerebro se activa emocionalmente en la medida justa, ni mucho ni poco.



PROPORCIÓN

Aunque la sala de la CAI no es un cuadrado perfecto, sí que tiene unas proporciones bastante similares. De largo mide 12 m y de ancho 11,8 m. Si aplicamos la regla de proporción 3:2 (equivalente a 1,5:1), es decir, dividimos el largo por el ancho, obtenemos un resultado de 1,02. Este valor, según la tabla del apartado anterior acerca de la proporción espacial, nos indica que esta sala de estudio es proporcionalmente óptima, obteniendo como resultado el máximo grado posible (nivel cinco).



COLORES

Los colores que conforman paredes, pilares y techo, al igual que pasa con el mobiliario, son de tonos claros, mayoritariamente verdes suaves y blancos, así como marrón y gris claro. Esto indica que el espacio está en su mayoría compuesto por colores neutros, ya que los pequeños toques de color que se producen de manera puntual (carteles, extintores, cuadros, etc.) no llegan a suponer mucha diferencia. Esto se traduce en la escala de Likert en un valor de tres, "predominio de colores neutros con un ligero toque de color."



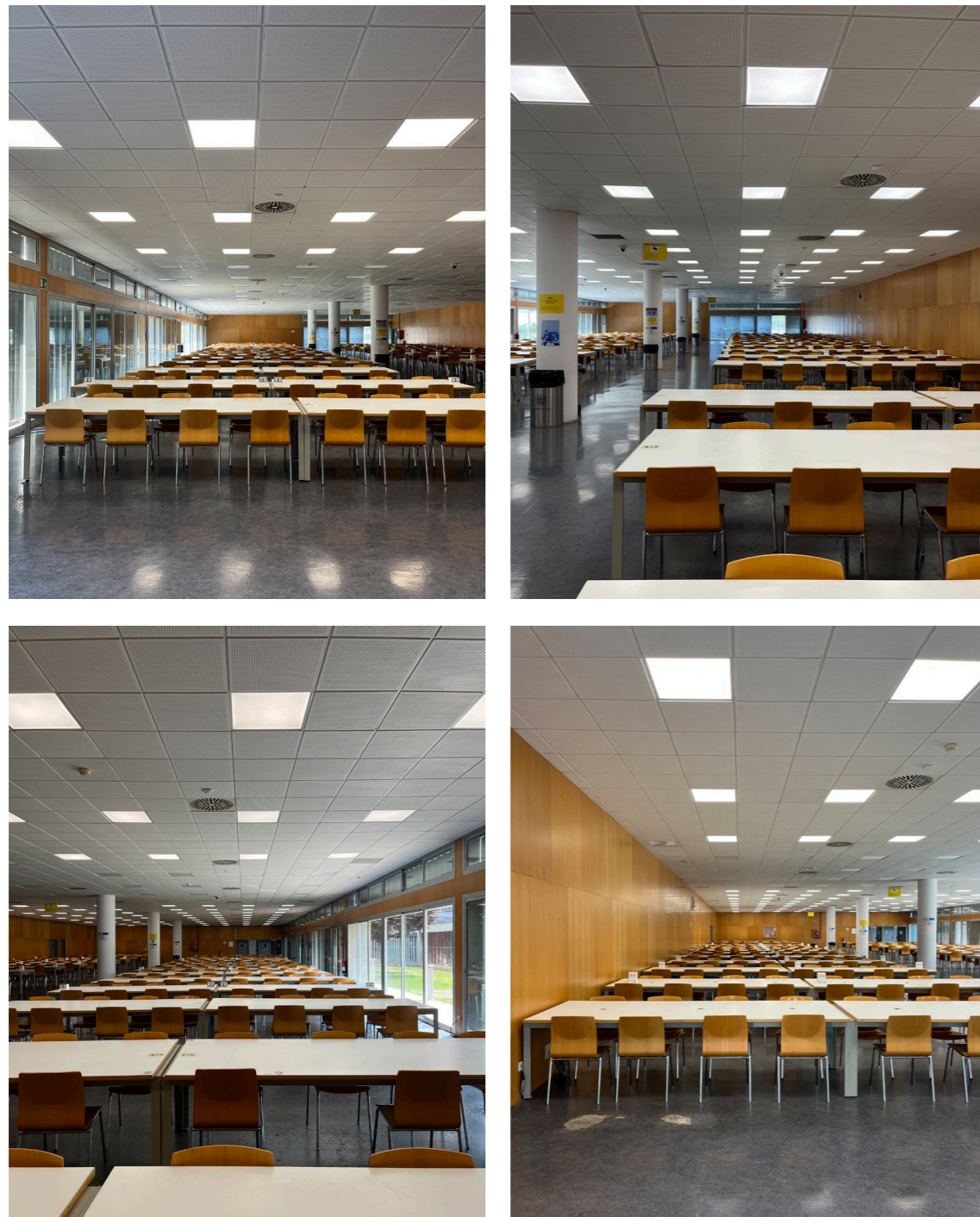
RESULTADO TOTAL

Si hacemos el sumatorio de todos los parámetros en su puntuación más alta, obtenemos un resultado total de 45 puntos, lo que significaría el máximo grado de confort del caso de estudio según los términos de la Neuroarquitectura.

En este caso, el sumatorio total que obtenemos después de haber realizado el análisis sobre la sala de estudio, es de **19/45 puntos**. Este valor, si lo equiparamos a una escala de cero a diez, sería lo mismo decir que el resultado total de la sala es de **4,22/10**.

Caso 2. Sala Tomás Pollán. EINA, Unizar.

Aplicación de la ficha



[Fig. 37,38,39,40] Fotografías de la Sala Tomás Pollán (EINA)

Siguiendo la selección de criterios de evaluación desarrollados previamente, se evalúa, a continuación, cada parámetro analizado adjudicando, para ello, el valor más representativo de los especificados en la tabla específica a cada parámetro.

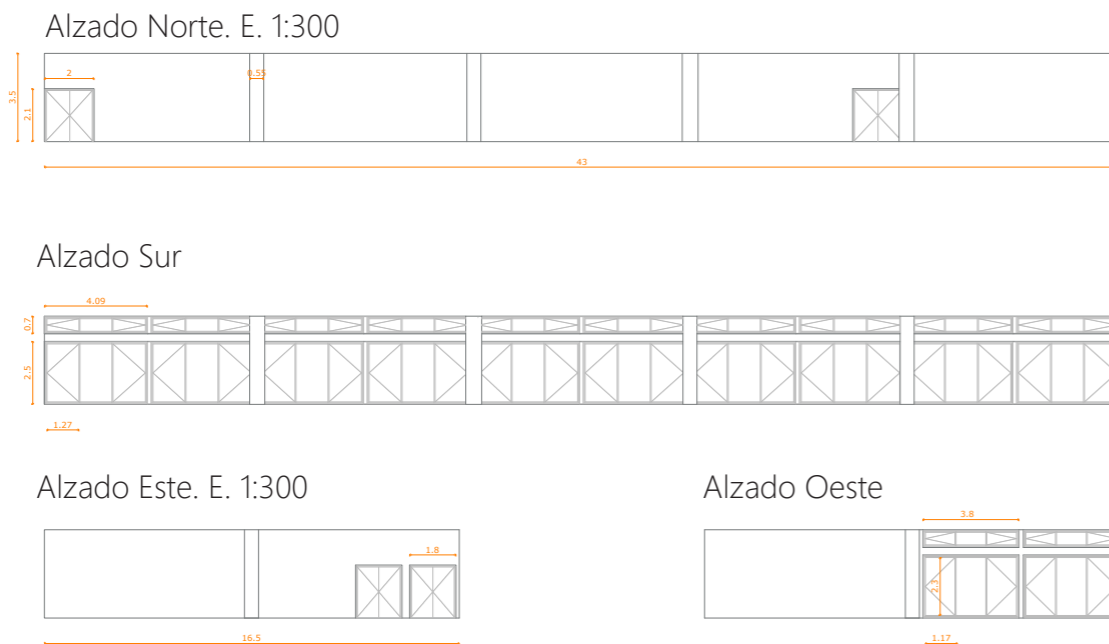
| PARÁMETRO | DESCRIPCIÓN | RESULTADOS | VALOR |
|---------------------------|----------------------------|---|-------|
| Materiales | Naturales | El 13,9% de la superficie de la sala se considera material natural, debido a su fin estético. | 2 |
| | No naturales | | |
| Iluminación | Natural | El 30,8% de la superficie de las paredes proporciona entrada de luz natural a la sala. | 3 |
| Geometría | Simetría | La sala es parcialmente simétrica debido a la ligera diferente colocación de los ventanales. | 3 |
| | Asimetría | | |
| Formas | Angulares | Área total= 709,5 m ² | 1 |
| | Curvilíneas | Angulares= 708 m ² (99,8%) Curvas= 1,2 m ² (0,2%) | |
| Vegetación | Presencia/ausencia | Vistas a vegetación exterior. | 3 |
| Configuración del espacio | Mobiliario flexible | Las mesas son los elementos principales del espacio, y son fijas. | 1 |
| | Mobiliario fijo | | |
| Altura techo | Alto | h= 3,5 m | 5 |
| | Bajo | | |
| Proporción | Ancho | Largo= 43 m, Ancho= 16,5 m | 2 |
| | Estrecho | Relación largo/ancho: 43:16,5= 2,6 | |
| Colores | Intensos/vivos | Predominio de colores neutros, con bastante presencia de color (textura de madera clara). | 4 |
| | Neutros | | |

[Tabla 15]

MATERIALES

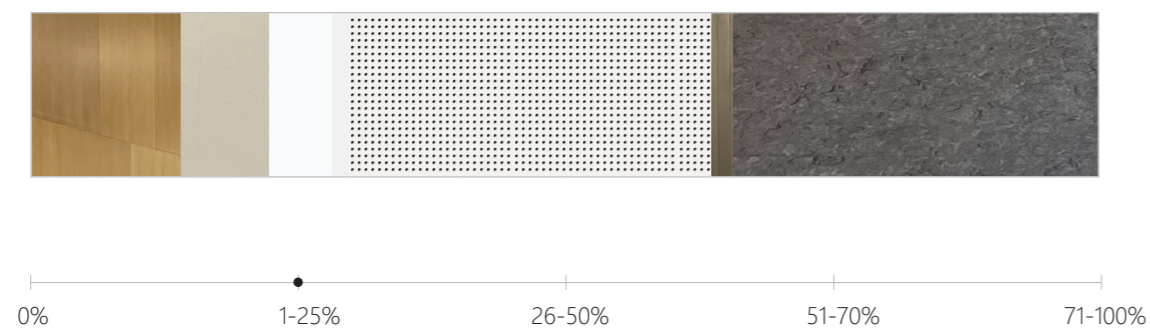
Los materiales visibles que conforman la sala de estudio de la Escuela de Ingeniería y Arquitectura son los siguientes: las paredes están revestidas con paneles de madera laminada, el falso techo está hecho a base de placas de yeso laminado, así como de piezas metálicas, el pavimento está acabado con un vinilo de plástico, los marcos de las ventanas son metálicos, los pilares están revestidos de yeso y pintura, las puertas son metálicas, los tableros de las mesas y el cuerpo de las sillas son laminados de madera, y las patas de ambos son metálicas. Los elementos con apariencia estética de madera los contamos como materiales naturales, cuyo porcentaje es de 13,9%. El porcentaje restante corresponde a los materiales no naturales empleados en la sala. Esto equivale a un nivel dos.

[Fig. 41]
[Fig. 42]
[Fig. 43]
[Fig. 44]



El siguiente diagrama de materiales expresa de forma visual la proporción de materiales empleados de cada tipo, ordenados de más naturales a menos naturales. El orden en este caso queda así: madera (13,93%), tablero MDF (8,34%), vidrio (5,63%), pintura (1,31%), yeso (34,03%), metal (2,68%) y plástico (34,03%).

[Fig. 45]



ILUMINACIÓN

La superficie de las cuatro paredes de la sala, sin descontar huecos, es de 413,8 m². Para poder contabilizar la superficie de la sala que posee entrada de luz natural, descontamos los huecos, cuyo valor total es de 127,2 m². Esto da lugar a que un 30,8% de la superficie de pared está destinada a huecos de luz natural. Además, al estar situados los huecos en las fachadas sur y oeste, la sala recibe grandes cantidades de luz natural a lo largo de prácticamente todo el día, siendo éste un factor favorable. Este porcentaje cataloga la iluminación de esta sala en el nivel tres.



GEOMETRÍA

Debido a la manera en la que están distribuidos los ventanales y los accesos, no podemos calificar la sala como totalmente simétrica. Por esta razón, y debido a que el mobiliario sigue un mismo orden simétrico con respecto al eje transversal, lo adecuado sería decir que es parcialmente simétrica (nivel tres).



FORMAS

El área total de la sala es de 709,2 m² y cuenta con cuatro columnas curvas de 0,3 m² de superficie cada una. Por lo tanto, la sala cuenta con un total de 1,2 m² de formas curvas. Esto equivale al 0,2% del total de formas curvas de la sala, siendo el resto de formas angulares un 99,8%. Como el espacio óptimo es aquel que en su mayoría presenta formas curvas de manera armónica y natural, podemos afirmar que la forma espacial es deficiente.



VEGETACIÓN

La sala no cuenta en su interior con vegetación, pero sí cuenta con vistas a zonas verdes (césped, arbustos y árboles) a través de los ventanales presentes en dos de las cuatro paredes. Debido a esto, y teniendo en cuenta que la vegetación exterior no es muy abundante y es obstaculizada en parte por lamas metálicas verticales, el nivel adecuado de vegetación de la sala que le corresponde es el tres.



CONFIGURACIÓN DEL ESPACIO

El mobiliario principal de la sala, y por lo tanto el elemento determinante de la configuración, que son las mesas, son fijas. Esto significa que el espacio no ofrece la posibilidad de adaptabilidad al usuario, lo que le otorga al espacio un valor deficiente.



ALTURA DE TECHO

La sala cuenta con una altura de 3,5 m de alto. Según la escala que hemos cuantificado anteriormente, esto se traduciría en un cinco en la escala de Likert, y por lo tanto en un sobresaliente.



PROPORCIÓN

La proporción más óptima hemos quedado que es 3:2 (largo vs. ancho), que equivale a 1,5:1. La Sala Tomás Pollán mide 43 m de largo y 16,5 m de ancho, lo que se traduce en una relación de 2,6. Según la tabla propuesta en el apartado anterior, la proporción de la sala sería insuficiente, siendo mucho más larga que ancha.



COLORES

Los colores neutros son aquellos que no tienen croma (saturación); como el blanco, el negro o los grises acromáticos. También se incluyen aquellos colores con un leve matiz de otro tono como el beige o crema (Glosario, s. f.). En la Sala Tomás Pollán se aprecia claramente la ausencia de colores vivos y, por lo tanto, el predominio de colores neutros (blanco, gris oscuro y madera clara), lo que la sitúa en la escala de Likert en el nivel tres (medio).



RESULTADO TOTAL

Si hacemos el sumatorio de todos los parámetros en su puntuación más alta, obtenemos un resultado total de 45 puntos, lo que significaría el máximo grado de confort del caso de estudio según los términos de la Neuroarquitectura.

En este caso, el sumatorio total que obtenemos después de haber realizado el análisis sobre la sala de estudio, es de **24/45 puntos**. Este valor, si lo equiparamos a una escala de cero a diez, sería lo mismo decir que el resultado total de la sala es de **5,33/10**.

Caso 3. Facultad de Filosofía y Letras, Unizar.

Aplicación de la ficha

Siguiendo la selección de criterios de evaluación desarrollados previamente, se evalúa, a continuación, cada parámetro analizado adjudicando, para ello, el valor más representativo de los especificados en la tabla específica a cada parámetro.



[Fig. 46,47,48,49] Fotografías de la Facultad de Filosofía y Letras (UNIZAR)

| PARÁMETRO | DESCRIPCIÓN | RESULTADOS | VALOR |
|---------------------------|---------------------|--|-------|
| Materiales | Naturales | Solo un 1% de la superficie de la sala se considera material natural, debido a su fin estético. | 2 |
| | No naturales | | |
| Iluminación | Natural | El 19,8% de la superficie de las paredes proporciona entrada de luz natural a la sala. | 2 |
| Geometría | Simetría | La sala es parcialmente simétrica debido a la ligera diferente colocación de los ventanales. | 3 |
| | Asimetría | | |
| Formas | Angulares | Área total= 200 m2 Angulares= 199,6 (99,6%) Curvas= 0,8 m2 (0,4%) | 1 |
| | Curvilíneas | | |
| Vegetación | Presencia/ausencia | Vistas escasas a vegetación exterior. | 2 |
| Configuración del espacio | Mobiliario flexible | Las mesas son los elementos principales del espacio, y son fijas. | 1 |
| | Mobiliario fijo | | |
| Altura techo | Alto | h= 3,10 m | 4 |
| | Bajo | | |
| Proporción | Ancho | Largo= 25 m, Ancho= 8 m Relación largo/ancho: 25:8= 3,125 | 1 |
| | Estrecho | | |
| Colores | Intensos/vivos | Presencia de colores neutros (blanco, negro, gris y crema) y un toque de marrón por las puertas. | 2 |
| | Neutros | | |

[Tabla 16]

MATERIALES

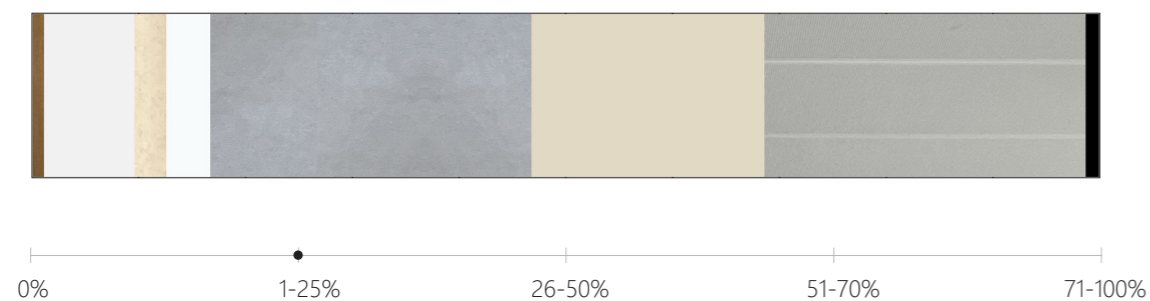
Los materiales visibles que conforman la sala de estudio de la Facultad de Filosofía y Letras son los siguientes: el acabado de las paredes es un enlucido de yeso pintado con pintura blanca, el falso techo está hecho a base de piezas metálicas, el pavimento es gres porcelánico de tono gris claro, los marcos de las ventanas son metálicos, los pilares de hormigón armado visto, las puertas y los tableros de las mesas laminados de madera, las patas de las sillas metálicas y el cuerpo de polipropileno (plástico). Todo esto indicaría que no hay presencia de materiales naturales, pero como hemos dicho en el apartado anterior que mantenemos como materiales naturales aquellos que aún tienen el fin estético de serlo, las puertas se incluirían. El porcentaje de materiales naturales, por lo tanto, es del 1%, siendo el 99% restante materiales no naturales.

[Fig. 50]
[Fig. 51]
[Fig. 52]
[Fig. 53]



El siguiente diagrama de materiales expresa de forma visual la proporción de materiales empleados de cada tipo, ordenados de más naturales a menos naturales. El orden en este caso queda así: madera (0,95%), tablero MDF (8,57%), hormigón armado visto (2,82%), vidrio (4,05%), gres porcelánico (28,99%), pintura (22,24%), metal (30,64%) y plástico (1,72%).

[Fig. 54]



ILUMINACIÓN

La superficie de las cuatro paredes de la sala, sin descontar huecos, es de 199,64 m². Para poder contabilizar la superficie de la sala que posee entrada de luz natural, descontamos los huecos, cuyo valor total es de 39,6 m². El resultado es de 160,04 m². Esto da lugar a que un 19,8% de la superficie de pared está destinada a huecos de luz natural. En cuanto a la orientación de la sala, la luz entra por el noreste y el noroeste, lo cual se traduce en entrada de luz no directa en su mayor parte, siendo cómoda para el usuario. La calificación final sería de nivel dos.



GEOMETRÍA

La manera en la que están distribuidas las ventanas y los accesos, no podemos calificar la sala como totalmente simétrica. Por esta razón, y debido a que el mobiliario sigue un mismo orden simétrico con respecto al eje transversal, lo adecuado sería decir que es parcialmente simétrica (nivel tres).



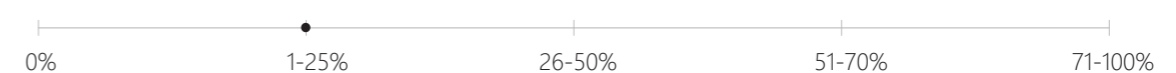
FORMAS

El área total de la sala es de 200 m² y cuenta con cuatro columnas curvas de 0,2 m² de superficie cada una. Por lo tanto, la sala cuenta con un total de 0,8 m² de formas curvas. Esto equivale al 0,4% del total de formas curvas de la sala, siendo el resto de formas angulares un 99,6%. Como el espacio óptimo es aquel que en su mayoría presenta formas curvas de manera armónica y natural, podemos afirmar que la forma espacial es deficiente.



VEGETACIÓN

La vegetación interior, como se puede observar en las imágenes adjuntas, es totalmente nula. En cuanto a las vistas exteriores verdes, se puede observar a través de las ventanas la presencia de algunos árboles. Sin embargo, el muro que da acceso al edificio obstaculiza en parte esa vista. Por todo esto, lo apropiado sería decir que el nivel de vegetación de la sala es de dos.



CONFIGURACIÓN DEL ESPACIO

En esta sala, al igual que pasa en la Sala Tomás Pollán, los elementos principales son las mesas, las cuales también son fijas. Por esta razón, es acercado decir que el nivel de calificación que más se le adapta es el uno.



ALTURA DE TECHO

En cuanto a la altura del techo de la sala, ésta es de 3,1 m. Basándonos nuevamente en los parámetros de la tabla, la sala se clasificaría en el nivel cuatro, siendo por lo tanto de altura suficiente para sentir sensación de apertura sin rozar lo excesivo.



PROPORCIÓN

La sala de estudio cuenta con una medida de 25x8 m (largoxancho) y, si aplicamos la proporción 3:2 obtenemos un valor de 3,125. Esto, según la tabla adaptada a la escala Likert propuesta en el apartado anterior, nos indica que el nivel de proporción de la sala sería uno, es decir, deficiente.



COLORES

Como ya se ha comentado anteriormente, los colores neutros son el blanco, el negro y los grises acromáticos, aunque también se incluyen el beige o el crema (Glosario, s. f.). En la sala de estudio de la Facultad de Filosofía y Letras se aprecia claramente el uso del blanco y del negro, tanto en los colores del suelo y el techo como en el mobiliario. Esto sitúa a la sala en la escala de Likert en el nivel dos (insuficiente).



RESULTADO TOTAL

Si hacemos el sumatorio de todos los parámetros en su puntuación más alta, obtenemos un resultado total de 45 puntos, lo que significaría el máximo grado de confort del caso de estudio según los términos de la Neuroarquitectura.

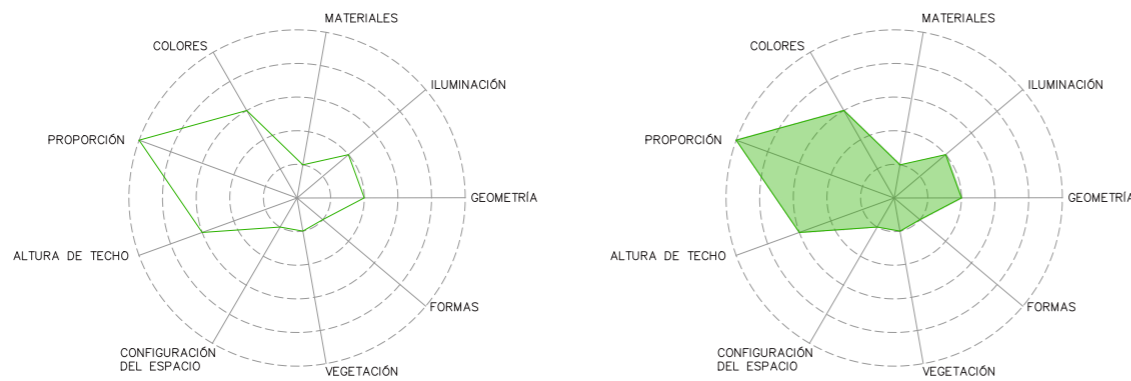
En este caso, el sumatorio total que obtenemos después de haber realizado el análisis sobre la sala de estudio, es de **18/45 puntos**. Este valor, si lo equiparamos a una escala de cero a diez, sería lo mismo decir que el resultado total de la sala es de **4/10**.

Comparativa de resultados.

Tras haber aplicado la ficha de análisis a cada uno de los tres casos de estudio, se lleva a cabo la comparativa de los resultados de los mismos. Para ello, se hace uso del método de representación en forma de gráfico conocido como "rosa de los vientos." Este tipo de gráfico resulta muy útil en este caso, ya que con solo echarles un vistazo se pueden observar los puntos fuertes y débiles de cada una de las tres salas de estudio.

CASO 1. Biblioteca CAI Universidad de Zaragoza

[Fig. 55,56]



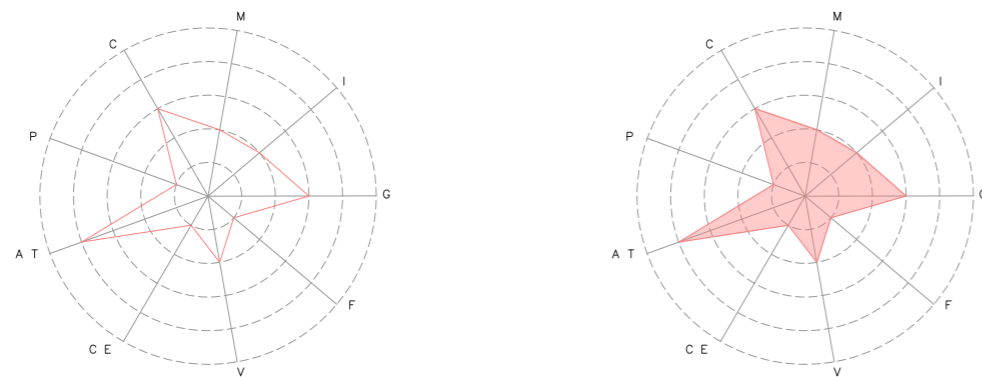
CASO 2. Sala Tomás Pollán. EINA, Unizar

[Fig. 57,58]



CASO 3. Facultad de Filosofía y Letras, Unizar.

[Fig. 59,60]



Comparativa de las tres salas de estudio

Este gráfico muestra de forma visual muy clara los resultados de los parámetros neuroarquitectónicos seleccionados de cada una de las tres salas de estudio, con el que se quiere mostrar de manera más rápida las diferencias y similitudes que presentan cada una de ellas.

[Fig. 61,62]



Empezando por el parámetro "**materiales**", sala de estudio que más porcentaje de materiales naturales presenta (en cuanto a apariencia estética se refiere), es la Sala Tomás Pollán, con un 13,9%, mientras que las otras dos apenas alcanzan el 1%. Esto se traduce en un menor confort visual y perceptivo para el usuario.

Siguiendo por el parámetro de la **iluminación**, de nuevo la Sala Tomás Pollán es la sala de estudio que mejor puntuación obtiene, ya que dispone de un 30,8% de superficie acristalada por la que entra luz natural. En segundo lugar, se encuentra la sala de Filosofía y Letras, con un 19,8% de superficie de entrada de luz natural y, por último, la sala de la Biblioteca CAI, que no cuenta con huecos directos al exterior.

En cuanto a la **geometría**, dos de las tres salas presentan características similares (la Sala Tomás Pollán y la sala de Filosofía y Letras), cuya disposición de las ventanas, así como del mobiliario, provocan una percepción del espacio predominantemente simétrica. La sala de la Biblioteca CAI, en cambio, incita a la sobreestimulación debido a su predominio asimétrico, lo que resulta menos agradable para el usuario.

El mobiliario fijo es un parámetro que las tres salas de estudio tienen en común, aun teniendo en cuenta la diferencia de número de plazas de cada una (72, 99 y 420, respectivamente). Esto se traduce en unos espacios muy rígidos y poco adaptables a las necesidades del usuario, es decir, de los estudiantes. Podría decirse que este parámetro, la **configuración del espacio**, destaca por ser en los tres casos un punto débil.

Si hablamos de la **vegetación**, ninguna de las tres salas cuenta con plantas en su interior. La primera sala, correspondiente a la Biblioteca CAI, de hecho, no cuenta ni con vistas al exterior, ya que como ya hemos dicho anteriormente, carece de huecos directos a éste. En cuanto a la vegetación exterior, la sala de la Escuela de Ingeniería y Arquitectura cuenta con la mejor puntuación de las tres, ya que cuenta con vistas más abundantes a elementos verdes que la sala de Filosofía y Letras.

El parámetro "**altura de techo**" obtiene su máximo resultado en la Sala Tomás Pollán (3,5 m), favoreciendo la sensación de apertura del usuario. En segundo lugar la sala de Filosofía y letras, con una altura de 3,1; y, por último, la sala de la Biblioteca CAI, que con 2,7 m de altura se sitúa en un estado medio de confort espacial.

La sala que alcanza su valor máximo en cuanto a la **proporción** del espacio se refiere es la de la Biblioteca CAI. Sin embargo, las otras dos salas resultan demasiado alargadas, lo que repercute de manera negativa en el rendimiento del estudiante, afectando en su atención y percepción del confort espacial.

Otro parámetro que las tres salas de estudio tienen en común es el de "**formas**", ya que todas ellas cuentan con casi un 100% superficie angular, dejando un porcentaje que no llega ni al 1% a superficies de elementos de forma curva.

Por último, en cuanto al **color**, en los tres casos de estudio predominan los colores neutros. Sin embargo, las dos primeras salas obtienen una ligera mejor puntuación con respecto a la última, debido a los toques de color presentes en las paredes. En la sala de la Biblioteca CAI éstas son de un tono verde claro, y en la Sala Tomás Pollán marrones. De nuevo, la sala de estudio de la EINA obtiene la mejor puntuación de las tres, seguida de la sala de la Biblioteca CAI y, por último la de la Facultad de Filosofía y Letras.

Si hacemos la comparativa de los resultados de las tres salas de estudio concluimos que la mejor puntuación obtiene es la Sala Tomás Pollán (24/45), seguida de la sala de la Biblioteca CAI (19/45) y, por último, la sala de Filosofía y Letras (18/45).

Conclusiones.

El propósito de este Trabajo Fin de Grado ha sido investigar cómo tres salas de estudio de la Universidad de Zaragoza se alinean con los principios de la Neuroarquitectura, campo que explora el impacto del entorno construido en el bienestar del ser humano. Para conseguirlo, se ha hecho uso de una metodología de comparación descriptiva que se basa en factores fundamentales como son la materialidad, la iluminación, la geometría, la forma, la vegetación, la configuración del espacio, la altura de techo, la proporción y el color.

Las conclusiones alcanzadas revelan diferencias significativas entre los tres casos de estudio analizados. La mejor calificación (24/45) la obtuvo la Sala Tomás Pollán en la Escuela de Ingeniería y Arquitectura, seguida de la sala de estudio de la Biblioteca CAI Universidad de Zaragoza (19/45) y, en tercer lugar, la sala de la Facultad de Filosofía y Letras (18/45). Aunque ninguna de las tres se acerca a los valores ideales de confort establecidos por la Neuroarquitectura, el estudio posibilita la identificación de debilidades y puntos fuertes comunes. La poca vegetación, la utilización de materiales artificiales y la rigidez del mobiliario son algunos de los problemas más frecuentes que disminuyen la flexibilidad y el bienestar del usuario, es decir, del estudiante. Se pueden destacar como elementos positivos la proporción adecuada en ciertas salas, la entrada de luz natural y una altura suficiente en algunos casos, que contribuyen a crear una sensación de apertura.

El trabajo, además de los resultados particulares, enfatiza que la experiencia del usuario no se ve afectada por igual por todos los parámetros analizados. En este contexto, dado que influyen directamente en la percepción sensorial, el confort psicológico y la capacidad de concentración de los alumnos, se debe tener en cuenta que la vegetación y la iluminación se incluyen dentro de los factores más decisivos. Además, quizá debería tenerse en cuenta que ciertos parámetros se analizasen de manera conjunta, como por ejemplo la altura de techo y la proporción, con el objetivo de obtener un resultado más preciso. Ambos parámetros tienen un impacto relevante en cómo se siente el entorno construido, incluyendo la sensación de amplitud, confinamiento y facilidad de uso.

Otra reflexión importante que se ha llevado a cabo durante la realización del trabajo es en relación a la variabilidad que experimenta el usuario según su ubicación dentro de un espacio. En este caso, las tres salas de estudio han sido analizadas desde una perspectiva general del espacio. Una perspectiva localizada facilitaría la obtención de resultados más precisos, ya que la experiencia espacial varía drásticamente según la cercanía a una ventana, el modo en que se orienta el mobiliario, si el usuario enfrenta una pared o tiene vistas al exterior con vegetación, entre otros. Esto permite que en el futuro se realicen investigaciones más exhaustivas, basadas en instrumentos tecnológicos como recorridos virtuales inmersivos o sensores fisiológicos.

En lo personal, este trabajo me ha brindado la oportunidad de verificar que la arquitectura va más allá de ser únicamente estética o funcional, ya que realmente es un elemento clave en mejorar la calidad de vida de las personas. Gracias a mi experiencia

anterior, ya había sido consciente del impacto que tiene el entorno construido sobre el bienestar de las personas; sin embargo, la investigación realizada para este trabajo, me ha posibilitado corroborar esas intuiciones con pruebas científicas y métodos de análisis. Esto me ha permitido adquirir la habilidad de observar los espacios con un enfoque más crítico, apreciando no solamente su diseño, sino también sus impactos en términos fisiológicos, cognitivos, emocionales y conductuales.

En conclusión, los resultados confirman la importancia de incluir la Neuroarquitectura en el diseño, en este caso, de espacios destinados a la educación. De esta manera, se podrán proporcionar ambientes más humanos, flexibles y enfocados en el bienestar de sus usuarios. Las limitaciones encontradas en este trabajo motivan a continuar progresando en las metodologías de análisis y a aumentar la muestra de casos para establecer una base firme que posibilite la creación de futuros entornos académicos genuinamente estimulantes y saludables.

Bibliografía.

Textos y artículos.

Bibliografía

Banaei, M., Hatami, J., Yazdanfar, A., & Gramann, K. (2017). Walking through Architectural Spaces: The Impact of Interior Forms on Human Brain Dynamics. *Frontiers in Human Neuroscience*, 11, 477. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00477>

Barrett, P., Davies, F., Zhang, Y., & Barrett, L. (2017). The Holistic Impact of Classroom Spaces on Learning in Specific Subjects. *Environment and Behavior*, 49(4), 425-451. <https://doi.org/10.1177/0013916516648735>

Esenarro, D., Ccalle, J., & Raymundo, V. (2023). Neuroarchitecture applied in the design of educational centers and cognitive development at the initial level in the district of Villa El Salvador. *Arts and Humanities*. <https://doi.org/10.20944/preprints202307.0345.v1>

Gage, F. H. (2003). *Neuroscience and architecture*. 4.

George, J., & Prakash, V. P. (2024). Exploring the Influence of Neuroarchitecture on Human Behavior and Well-being. *INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC RESEARCH IN ENGINEERING AND MANAGEMENT*, 08(03), 1-9. <https://doi.org/10.55041/IJSREM28978>

Glosario. (s. f.). X-Rite. Recuperado 29 de agosto de 2025, de https://www.xrite.com/learning-color-education/other-resources/glossary?utm_source=chatgpt.com

Green, C. D. (1995). All That Glitters: A Review of Psychological Research on the Aesthetics of the Golden Section. *Perception*, 24(8), 937-968. <https://doi.org/10.1068/p240937>

Higuera Trujillo, J. L. (2021). *NeuroArquitectura: Nuevas métricas para el diseño arquitectónico a través del uso de neurotecnologías* [Universitat Politècnica de València]. <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/171261>

Llorens-Gámez, M., Higuera-Trujillo, J. L., Omarrementeria, C. S., & Llinares, C. (2022). The impact of the design of learning spaces on attention and memory from a neuroarchitectural approach: A systematic review. *Frontiers of Architectural Research*, 11(3), 542-560. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2021.12.002>

Medhat Assem, H., Mohamed Khodeir, L., & Fathy, F. (2023). Designing for human well-being: The integration of neuroarchitecture in design – A systematic review. *Ain Shams Engineering Journal*, 14(6), 102102. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.102102>

Meyers-Levy, J., & Zhu, R. (2007). The Influence of Ceiling Height: The Effect of Priming on the Type of Processing That People Use. *Journal of Consumer Research*, 34(2), 174-186. <https://doi.org/10.1086/519146>

Neuroarquitectura: Aprendiendo a través del espacio (with Mombiedro, A.). (2022). Luis Vives.

Neuroarquitectura: Arquitectura y efectos en el cerebro. (s. f.). ExpoCIHAC hub. Recuperado 27 de agosto de 2025, de <https://www.expocihachub.com/nota/arquitectura/neuroarquitectura-y-efectos-en-el-cerebro>

Nicolini, E. (2022). Built Environment and Wellbeing—Standards, Multi-Criteria Evaluation Methods, Certifications. *Sustainability*, 14(8), 4754. <https://doi.org/10.3390/su14084754>

Nikos A., S. (2020). Symmetry gives meaning to architecture. *Symmetry: Culture and Science*, 31(3), 231-260. https://doi.org/10.26830/symmetry_2020_3_231

Olusola Oladapo, M., Olabode Oludayo, A., & Olubukunmi Temitope, M. (2024). FACTORS INFLUENCING THE CHOICE OF BUILDING MATERIALS AND THEIR RELATIONSHIPS TO HUMAN HEALTH. Vol 1 Issue 3 2024.

Postle, B., & Salingaros, N. A. (2025). LLM and Pattern Language Synthesis: A Hybrid Tool for Human-Centered Architectural Design. *Buildings*, 15(14), 2400. <https://doi.org/10.3390/buildings15142400>

Robinson, S., & Pallasmaa, J. (2017). *MIND IN ARCHITECTURE: Neuroscience, Embodiment, and the Future of Design*. MIT PRESS.

Traboulsi, C., & Felix, M. (2024). EXAMINING ELEVATION OPENING RATIO AND SPACE PROPORTIONS IN LEBANESE SCHOOLS. *BAU Journal - Creative Sustainable Development*, 5(1). <https://doi.org/10.54729/2789-8334.1123>

Ulrich, R. S. (s. f.). *Health Benefits of Gardens in Hospitals*.

Wang, S., Sanches De Oliveira, G., Djebbara, Z., & Gramann, K. (2022). The Embodiment of Architectural Experience: A Methodological Perspective on Neuro-Architecture. *Frontiers in Human Neuroscience*, 16, 833528. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2022.833528>

Wilkins, A. (2025). Visual discomfort, neural inefficiency and the cortical haemodynamic response. *Academia Biology*, 3(1). <https://doi.org/10.20935/AcadBiol7618>

Zhou, Q., & Fang, X. (2024). Exploring the Application of Neurostructural Principles to the Design of Public Spaces on University Campuses. *Land*, 13(12), 1978. <https://doi.org/10.3390/land13121978>

<https://www.expocihachub.com/nota/arquitectura/neuroarquitectura-y-efectos-en-el-cerebro#:~:text=Eberhard.,la%20creaci%C3%B3n%20de%20la%20experiencia.>

<https://www.re-thinkingthefuture.com/architectural-styles/a7549-neuro-architecture-emerging-field-merging-fields/>

<https://www.en.create.aau.dk/research/research-groups/brain-body-architecture-research-bbar>

<https://anfarch.org/>

<https://www.nandcentre.com/>

<https://www.ri.se/en/expertise-areas/projects/neuroarchitecture-neurodesign>

<https://www.ucl.ac.uk/global/news/2024/nov/ucl-and-rise-launch-centre-neuroarchitecture-neurodesign>

[Fig. 1]
<https://www.elmundo.es/la-lectura/2024/05/09/6638e75ee9cf4a9c798b4599.html>

[Fig. 2]
Neuroarquitectura: Aprendiendo a través del espacio (with Mombiedro, A.). (2022). Luis Vives.

[Fig. 3]
Zhou, Q., & Fang, X. (2024). Exploring the Application of Neurostructural Principles to the Design of Public Spaces on University Campuses. *Land*, 13(12), 1978.

[Fig. 4]
Neuroarquitectura: Aprendiendo a través del espacio (with Mombiedro, A.). (2022). Luis Vives.

[Fig. 5]
<https://nodoartes.wordpress.com/2019/05/29/por-que-los-primeros-dibujos-de-neuronas-fueron-desfigurados/>

[Fig. 6]
<https://www.metalocus.es/es/noticias/una-nueva-vida-para-el-instituto-salk-de-kahn-por-el-getty-conservation-institute>

[Fig. 7]
Wang, S., Sanches De Oliveira, G., Djebbara, Z., & Gramann, K. (2022). The Embodiment of Architectural Experience: A Methodological Perspective on Neuro-Architecture. *Frontiers in Human Neuroscience*, 16, 833528. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2022.833528>

[Fig. 8]
Postle, B., & Salingaros, N. A. (2025). LLM and Pattern Language Synthesis: A Hybrid Tool for Human-Centered Architectural Design. *Buildings*, 15(14), 2400. <https://doi.org/10.3390/buildings15142400>

[Fig. 9]
Postle, B., & Salingaros, N. A. (2025). LLM and Pattern Language Synthesis: A Hybrid Tool for Human-Centered Architectural Design. *Buildings*, 15(14), 2400. <https://doi.org/10.3390/buildings15142400>

[Fig. 10,11]
<https://cpgconsultants.com.sg/blog/projects/khoo-teck-puat-hospital-singapore/>

[Fig. 12]
<https://www.archdaily.cl/cl/891954/club-cardamomo-kumar-la-noce>

[Fig. 13]
<https://www.archdaily.com/620187/shortlist-announced-for-2015-riba-east-awards/552fbba5e58ecea958000016-addenbrooke-s-multi>

[Fig. 14]
Zhou, Q., & Fang, X. (2024). Exploring the Application of Neurostructural Principles to the Design of Public Spaces on University Campuses. *Land*, 13(12), 1978.

[Fig. 15]
Plano de situación de las tres salas de estudio. E. 1:25000. Elaboración propia.

[Fig. 16]
Vista general de la sala de estudio de la Biblioteca CAI Universidad de Zaragoza. Elaboración propia.

[Fig. 17]
Ubicación. E. 1:6000. CASO 1. Elaboración propia.

[Fig. 18]
Planta baja. E. 1:500. CASO 1. Elaboración propia.

[Fig. 19]
Planta sala de estudio. E. 1:250. CASO 1. Elaboración propia.

[Fig. 20]
Vista general de la Sala Tomás Pollán (EINA). Elaboración propia.

[Fig. 21]
Ubicación. E. 1:6000. CASO 2. Elaboración propia.

[Fig. 22]
Planta baja. E. 1:1500. CASO 2. Elaboración propia.

[Fig. 23]
Planta sala de estudio. E. 1:500. CASO 2. Elaboración propia.

[Fig. 24]
Vista general de la sala de estudio de la Facultad de Filosofía y Letras. Elaboración propia.

[Fig. 25]
Ubicación. E. 1:6000. CASO 3. Elaboración propia.

[Fig. 26]
Planta baja. E. 1:600. CASO 3. Elaboración propia.

[Fig. 27]
Planta sala de estudio. E. 1:300. CASO 3. Elaboración propia.

[Fig. 28,29,30,31]
Fotografías de la sala de estudio de la Biblioteca CAI Universidad de Zaragoza. Elaboración propia.

[Fig. 32,33,34,35]
Alzados noreste, sureste, noroeste y suroeste. E. 1:200. Caso 1. Elaboración propia.

[Fig. 36]
Diagrama de materiales. Caso 1. Elaboración propia.

[Fig. 37,38,39,40]
Fotografías de la Sala Tomás Pollán, EINA (UNIZAR). Elaboración propia.

[Fig. 41,42,43,44]
Alzados norte, sur, este y oeste. E. 1:300. Caso 2. Elaboración propia.

[Fig. 45]
Diagrama de materiales. Caso 2. Elaboración propia.

[Fig. 46,47,48,49]
Fotografías de la sala de estudio de la Facultad de Filosofía y Letras (UNIZAR). Elaboración propia.

[Fig. 50,51,52,53]
Alzados noreste, sureste, noroeste y suroeste. E. 1:250. Caso 3. Elaboración propia.

[Fig. 54]
Diagrama de materiales. Caso 3. Elaboración propia.

[Fig. 55,56]
Caso 1. Resultado de los parámetros. Rosa de los vientos. Elaboración propia.

[Fig. 57,58]
Caso 2. Resultado de los parámetros. Rosa de los vientos. Elaboración propia.

[Fig. 59,60]
Caso 3. Resultado de los parámetros. Rosa de los vientos. Elaboración propia.

[Fig. 61,62]
Casos 1, 2 y 3. Comparativa de resultados de los parámetros. Rosa de los vientos. Elaboración propia.

Tablas.

Bibliografía

[Tabla 1]

Medhat Assem, H., Mohamed Khodeir, L., & Fathy, F. (2023). Designing for human wellbeing: The integration of neuroarchitecture in design – A systematic review. *Ain Shams Engineering Journal*, 14(6), 102102. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.102102> La table es elaboración propia, los datos en cambio están obtenidos del estudio científico.

[Tabla 2]

Zhou, Q., & Fang, X. (2024). Exploring the Application of Neurostructural Principles to the Design of Public Spaces on University Campuses. *Land*, 13(12), 1978. <https://doi.org/10.3390/land13121978> La table es elaboración propia, los datos en cambio están obtenidos del estudio científico.

[Tabla 3]

Tabla “Escala de Likert”. Elaboración propia.

[Tabla 4]

Ficha de análisis comparativo. Elaboración propia.

[Tabla 5]

Tabla de cuantificación del parámetro “materiales”. Elaboración propia.

[Tabla 6]

Tabla de cuantificación del parámetro “iluminación natural”. Elaboración propia.

[Tabla 7]

Tabla de cuantificación del parámetro “geometría”. Elaboración propia.

[Tabla 8]

Tabla de cuantificación del parámetro “formas”. Elaboración propia.

[Tabla 9]

Tabla de cuantificación del parámetro “vegetación”. Elaboración propia.

[Tabla 10]

Tabla de cuantificación del parámetro “configuración del espacio”. Elaboración propia.

[Tabla 11]

Tabla de cuantificación del parámetro “altura de techo”. Elaboración propia.

[Tabla 12]

Tabla de cuantificación del parámetro “proporción”. Elaboración propia.

[Tabla 13]

Tabla de cuantificación del parámetro “colores”. Elaboración propia.

[Tabla 14]

Aplicación de la ficha. Caso 1. Elaboración propia.

[Tabla 15]

Aplicación de la ficha. Caso 2. Elaboración propia.

[Tabla 16]

Aplicación de la ficha. Caso 3. Elaboración propia.

